



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VILLE KUKKONEN
HYDRAULIKAAVIOIDEN HALLINTA KONFIGUROITUVASSA
TUOTERAKENTEESSE

Diplomityö

Tarkastaja:
professori Kalevi Huhtala
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekunta-
neuvoston kokouksessa
6. toukokuuta 2015

TIIVISTELMÄ

VILLE KUKKONEN: Hydraulikaavioiden hallinta konfiguroituvassa tuoterakenteessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 65 sivua

Joulukuu 2015

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Hydrauliteknikka

Tarkastaja: professori Kalevi Huhtala

Avainsanat: hydraulikaavio, konfiguraattori, konfiguroituva tuoterakenne, tilaus-toimitusprosessi

Maanalainen poralaite on asiakasrätälöity tuote, jolla on laaja tuotevalikoima. DD422i poralaite on suunniteltu konfiguroituvaksi tuotteeksi, jolloin sillä on mahdollista vastata tarkasti asiakkaan vaatimuksiin. Poralaiteyksilön tuoterakenne muodostetaan myyntitilauksen perusteella tilaus-toimitusprosessissa. Poralaitteen hydraulijärjestelmä esitetään yleisessä hydraulikaaviossa, jossa näytetään vakiokomponenttien lisäksi poralaitteen optiokomponentit ja niiden kytkennät. Poralaitteiden hydraulikaavioiden käyttäjät ovat vaatineet tilauskohtaisia hydraulikaaviota toimitettavaksi poralaitteen mukana. Tilauskohtainen hydraulikaavio esittää poralaiteyksilön hydraulijärjestelmän, jolloin kaavio sisältää vain poralaitteeseen kuuluvat hydraulikomponentit ja niiden kytkennät.

Yrityksen eri tehtaiden hydraulikkasuunnitteluosastoilla on otettu käyttöön uusi kaavionpiirto-ohjelma, jolla on mahdollista tuottaa konfiguroituvia kaavioita. Diplomityössä kehitettiin toimintatapa, jonka mukaan yrityksen eri suunnitteluosastot voivat tuottaa yhtenäisiä ja standardinmukaisia hydraulikaavioita. Työssä myös selvitettiin voidaanko poralaitteen hydraulikaaviot tuottaa konfiguroituviksi ja miten tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään poralaitteen tilauskohtaiselle tuoterakenteelle tilaus-toimitusprosessissa.

Poralaitteen hydraulikaavio onnistuttiin tekemään konfiguroituvaksi. Diplomityössä pohdittiin, voidaanko jatkossa luopua yleisestä hydraulikaaviosta, jos hydraulikaavio konfiguroidaan tilauskohtaisesti poralaiteyksilölle. Konfiguroituvan tuotteen ominaisuuksien vuoksi yleisestä hydraulikaaviosta ei luovuttu, vaan tilauskohtainen hydraulikaavio päätettiin tarjota poralaitteen mukana yleisen kaavion lisäksi.

Diplomityössä esitettiin, miten kaavio tehtiin konfiguroituvaksi. Lisäksi työssä pohdittiin, millä tavoin hydraulikaavion konfigurointiprosessia voitaisiin kehittää. Hydraulikaavioiden konfigurointimalli on rakennettu kaavioiden hallinnan ja ylläpidon näkökulmasta. Hydraulikaavioiden konfigurointimallia tulisi muuttaa tuotekonfiguraattorin mallin mukaiseksi, jolloin konfigurointikysymykset ja niiden arvot olisivat yhtenevät. Hydraulikaaviot voitaisiin konfiguroida yksikäsitteisesti suoraan tuotekonfiguraattorin arvojen perusteella, mikä tehostaisi konfigurointiprosessia ja vähentäisi inhimillisiä virheitä prosessin aikana. Konfiguraattorien toimintojen yhdenmukaistaminen mahdollistaisi tulevaisuudessa hydraulikaavion konfigurointiprosessin automatisoimisen.

ABSTRACT

VILLE KUKKONEN: Hydraulic schematics management in a configurable product structure

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 65 pages

December 2015

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Fluid Power

Examiner: Professor Kalevi Huhtala

Keywords: hydraulic schematic, configurator, configurable product structure, order-delivery process

Underground drilling rig is a product, which can be customized according to customers' needs. DD422i drilling rig is designed as a configurable product, which has a wide product range. The DD422i order-specific product structure is configured with engineering configurator in order-delivery process. The hydraulic system is described in generic hydraulic schematic, which shows the standard and option components and their connection of the drilling rig. A hydraulic schematic is required to be order-specific by the hydraulic schematic users. Order-specific hydraulic schematic shows only the existing components and connections of the hydraulic system.

Company has started to use globally a new designing program for hydraulic and electric designing. It is possible to create configurable schematics with the new program. Master's thesis focused to two main points. First one was to research how hydraulic designers at different factories could produce similar and standardised hydraulic schematics. Another point was to figure out, is it possible to create configurable hydraulic schematics. The order-specific hydraulic schematic is added to the configured product structure of the drilling rig in the order-delivery process.

The hydraulic schematic was made successfully configurable. If the order-specific hydraulic schematics were delivered to a customer with the drilling rig, is there a need for generic hydraulic schematics? Because drilling rig is a configurable product, the generic hydraulic schematic is still needed in its generic product structure. The order-specific hydraulic schematic is provided as an extra documentation for a drilling rig.

This thesis shows a way to create configurable hydraulic schematics. It also points out few things which would improve the configuration process of the hydraulic schematics. The configuration model of the hydraulic schematics was made simply and easily maintained. The configuration model of the hydraulic schematic configurator should be made according to the product configurator. Therefore the same configuration values could be used when configuring the hydraulic schematics. Harmonic configuration definitions and values make the configuring process more efficient and error-free. It also enables the configuration process automatization.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana Sandvik Mining and Construction Oy:n hydraulikka-suunnitteluohjelman käyttöönottoprojektia.

Haluan kiittää Pertti Parkkista mahdollisuudesta osallistua projektiin diplomityön tekijänä. Kiitän ohjaajiani Juha Pölöstä, Tarja Laitista ja Samuli Kouhiaa. Annoitte paljon tärkeitä neuvoja ja käytitte aikaanne diplomityöni edistämiseksi. Kiitos Lotta Kokkilalle, jonka kokemus kaavionpiirto-ohjelman käyttämisestä mahdollisti projektin onnistumisen. Haluan esittää kiitokset myös lukuisille muille yrityksen työntekijöille, jotka auttoivat minua työhöni liittyvissä kysymyksissä. Haluan kiittää työni tarkastajaa professori Kalevi Huhtalaa saamistani neuvoista ja ohjeista. Kiitos myös FHPA:lle diplomityöni huomioimisesta.

Nelson Mandela on sanonut: ”Moni asia tuntuu mahdottomalta, kunnes se on tehty.” Vaikka diplomityöni valmiiksi saattaminen ei ratkaisekaan maailman ongelmia, on valmistuminen huipennus mieleenpainuvalle ajanjaksolle elämässäni. Haluan kiittää opiskelukavereitani Koneenrakentajakillassa, Kavitaatiossa ja Savon Mafiassa. Kiitos myös veljelleni Teemulle, on ollut hienoa opiskella yhtä aikaa kanssasi samassa yliopistossa. Teidän ansiostanne opiskeluaikani TTY:llä on ollut ikimuistoista!

Lopuksi haluan sydämellisesti kiittää perhettäni. Te olette aina kannustaneet ja tukeneet minua opinnoissani ja elämässäni.

Tampereella, 24.11.2015

Ville Kukkonen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTATIEDOT	3
2.1	Yrityksen esittely	3
2.2	DD422i poralaite	4
3	HYDRAULIJÄRJESTELMÄN DOKUMENTOINTI	5
3.1	Hydraulikaavio	5
3.2	Hydrauliikan piirrosmerkit	7
3.3	Standardinmukainen hydraulikaavio	8
3.4	Hydraulikaavion käyttäjät	10
3.5	Hydraulikaavioiden vaatimukset	10
4	KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN HALLINTA	13
4.1	Konfiguroituva tuote	13
4.2	Konfigurointiprosessi	16
4.3	Konfiguraattori	18
4.4	Konfiguroituva tuoterakenne	19
4.5	Rinnakkaiset tuoterakenteet	21
4.6	Yrityksen tuotetiedonhallintajärjestelmä	22
4.7	Geneerinen tuoterakenne	23
4.8	Tuotekonfiguraattori	24
5	GLOBALI SUUNNITTELUOHJELMA	26
5.1	Suunnitteluohjelman valintaprosessi	26
5.2	E3 ohjelmiston esittely	27
5.3	Hydraulijärjestelmän esittäminen kaaviossa	28
5.4	Konfiguroituva hydraulikaavio	30
5.5	Optioiden ja varianttien esittäminen kaavioissa	32
5.5.1	Optiokomponentti	32
5.5.2	Varianttikomponentti	34
5.5.3	Optiokaavio	36
5.5.4	Attribuuttikonfigurointi	37
5.5.5	Optiokomponentin varioituva letkutus	39
5.6	Kaaviokonfiguroinnin haasteita	40
6	HYDRAULIKAAVIOIDEN HALLINTA	42
6.1	Hydraulikaavioiden rakenne	42
6.2	Konfigurointiprosessit	42
6.3	Hydraulikaavio letkutusdokumenttina	44
6.4	Rinnakkaiset hydraulikaaviot	44
7	TILAUS-TOIMITUSPROSESSI	47
7.1	Tilauskohtainen hydraulikaavio tilaus-toimitusprosessissa	47
7.2	FOD-prosessi	48

7.3	Myyntitilaus	49
7.4	Tuoterakenteen konfiguroiminen	50
7.5	Tilauskohtainen hydraulikaavio	51
7.6	Muutos laitteen spesifikaatiossa.....	54
7.7	Muutos tilaus-toimitusprosessissa: A-tuote	55
7.8	Muutos tilaus-toimitusprosessissa: B-tuote.....	56
8	KONFIGUROINTIPROSESSIEN KEHITTÄMINEN	58
8.1	Tuotekonfigurointiprosessin kehittäminen.....	58
8.2	Optionimien harmonisointi	59
8.3	Hydraulikaavion konfigurointiprosessin automatisointi	60
9	YHTEENVETO	61
	LÄHTEET.....	63

TERMIT JA LYHENTEET

Attribuutti	Objektiin sidottu lisäinformaatio
BOM	Engl. Bill of Materials, tuoterakenne tai osaluettelo
EBOM	Engl. Engineering Bill of Materials, suunnittelun tuoterakenne
FOD-prosessi	Engl. Forecasted Order-Delivery, ennustettava tilaus-toimitusprosessi
Kaaviokonfiguraattori	Kaavionpiirto-ohjelmiston konfiguraattori, jolla konfiguroidaan tilauskohtainen hydraulikaavio
Kaivosjumbo	Kaivostunnelin perän poraukseen käytettävä poralaite
Kavitaatio	Ilmiö, jossa hydraulineesteeseen muodostuu kaasukuplia liian alhaisen paineen vaikutuksesta. Voi vaurioittaa hydraulikomponentteja
Konfiguraatio	Konfiguraattorilla tehty tuotevariantin kuvaus
Konfiguraatiomalli	Koostuu konfigurointisäännöistä, joiden avulla konfiguraatio on mahdollista muodostaa tuotteen konfiguraattorissa
Konfiguraattori	Järjestelmä, jolla muodostetaan tuotteen konfiguraatio konfigurointimallin mukaan
Laite	Engl. Device, E3 kaavionpiirto-ohjelmiston komponentin yksilöity esiintymä hydraulikaavioprojektissa. Laitteella on yksilöllinen komponenttitunnus
MBOM	Engl. Manufacturing Bill of Materials, tuotannon tuoterakenne
Nimike	Osa tai osakokonaisuus, joka tunnistetaan yksilöllisen koodin mukaan tuotetiedonhallintajärjestelmässä
Objekti	Tietojärjestelmän olio, joka edustaa tietoluokkaa. Esimerkiksi kaavionpiirto-ohjelman symboli ja tuotetiedonhallintajärjestelmän nimike ovat objekteja
Optio	Asiakkaan valittavissa oleva lisäominaisuus tuotteeseen
PDM	Engl. Product Data Management, tuotetiedonhallinta
Poralaite	Yrityksen valmistama mekanisoitu porakone
Poralaitevariantti	Poralaitteen yksittäinen konfiguraatio
PLM	Engl. Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
Revisio	Nimikkeen päivitetty versio
SOS	Engl. Stored Option Set, tuotekonfiguraation optiokysymysten arvot sisältävä optiolista
SOR	Engl. Special Order Request, Myyntitilauksessa esitetyt lisävaatimukset. SOR-kenttään kirjoitetaan B-tuotteelta vaaditut ominaisuudet
Tuotekonfiguraattori	PDM-järjestelmän konfiguraattori, jolla konfiguroidaan tilauskohtainen tuoterakenne
Tuoterakenne	Tuotteen hierarkkinen osarakenne, joka sisältää tuotteen komponentit ja kokoonpanot usealla tasolla, (kts. BOM)
Tuotespesifikaatio	Myyntitilauksessa esitettävä tieto poralaiteyksilön ominaisuuksista
Variantti	Varioituva ominaisuus, joka ovat vaihtokelpoinen muiden varianttien kanssa
Varioituva optio	Vaihtokelpoinen ominaisuus, joka voi myös jäädä pois tuotteen konfiguraatiosta

1 JOHDANTO

Diplomityö on osa yrityksen hydraul- ja sähkökaavioiden piirto-ohjelmiston käyttöönottoprojektia. Ohjelmisto tullaan ottamaan käyttöön kaikissa Sandvik Miningin and Sandvik Constructionin tehtaiden suunnitteluosastoissa. Projektin tarkoituksena on selvittää toimintatapa, miten hydraulikaaviota tuotetaan yrityksen tehtaiden suunnitteluosastoilla.

Diplomityön ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää toimintatapa, miten hydraulikaavioita piirretään E3-ohjelmistolla. Toimintatapa hydraulikaavioiden piirtämiselle esitettiin E3-ohjeessa, joka kirjoitettiin yrityksen sisäiseksi dokumentiksi. Ohjeessa esitettiin yksityiskohtaisesti, miten hydraulikaaviot piirretään ISO 1219-standardin mukaisiksi.

Diplomityön toisena tavoitteena oli tutkia voidaanko hydraulikaaviot tehdä konfiguroituviksi, jolloin hydraulikaaviot voidaan esittää tuoteyksilökohtaisina hydraulikaavioina. Diplomityössä keskitytään tutkimaan konfiguroituvien hydraulikaavioiden tuottamista yrityksen DD422i poralaitteelle, sekä miten konfiguroituvia hydraulikaavioita hallitaan.

Diplomityö rajataan käsittelemään DD422i poralaitteen hydraulikaavioita. DD422i on yrityksen valmistama maanalainen poralaite, jonka tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan yrityksen PDM-järjestelmän tuotekonfiguraattorilla. Kaavionpiirto-ohjelmiston käyttöönottoprojektissa on tarkoitus myös tutkia, voidaanko tilauskohtaiset hydraul- ja sähkökaaviot yhdistää yhdeksi kaaviodokumentiksi. Hydraul- ja sähkökaavioiden yhdistämisen tarkastelu rajataan diplomityön ulkopuolelle.

Diplomityön toisessa luvussa tutustutaan kohdeyritykseen ja sen valmistamaan poralaitteeseen. Diplomityön kolmannessa luvussa tutustutaan hydraulikaavioiden standardin mukaiseen esittämiseen ISO 1219-standardin mukaan, sekä hydraulikaavioiden käyttäjien vaatimuksiin, miten yrityksen hydraulikaaviot tulisi esittää. Neljännessä luvussa esitellään konfiguroituva tuote ja edut mitä konfiguroituvalla tuotteella saavutetaan. Luvussa 4 esitetään miten konfiguroituvan tuotteen määrittely on jaettu useaan konfigurointiprosessiin. Tuotteen rinnakkaisilla tuoterakenteilla voidaan vastata paremmin suunnittelun ja tuotannon tarpeisiin.

Yrityksen uudella kaavionpiirto-ohjelmalla voidaan tuottaa konfiguroituvia hydraulikaavioita. Kaavionpiirto-ohjelma otetaan käyttöön kaikissa Sandvik Miningin ja Sandvik Constructionin tehtaiden hydraulikkaosastoilla. Luvussa 5 tutustutaan uuden kaavionpiirto-ohjelmiston ominaisuuksiin ja toimintatapaan, miten kaavionpiirto-ohjelmalla tuotetaan hydraulikaavioita. Luvussa 5 tutkitaan miten hydraulikaavio voidaan tehdä konfiguroituvaksi, jolloin on mahdollista tuottaa poralaittekohtaisia hydraulikaavioita.

Poralaitteen hydraulikaavio esitetään yleisenä hydraulikaaviona, jonka mukaan jokaisen poralaitteyksilön hydraulijärjestelmä on voitu tulkita samasta hydraulikaaviosta. Luvussa 6 pohditaan, voidaanko yleisestä, eli geneerisestä hydraulikaaviosta luopua, mikäli tilauskohtainen hydraulikaavio tarjotaan poralaitteen mukana. Lisäksi luvussa 6 esitetään, miten tilauskohtainen hydraulikaavio yhdistetään poralaitteen tuoterakenteeseen ja miten konfiguroituvaa hydraulikaaviota hallitaan.

Tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään poralaitteen tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen tilaus-toimitusprosessissa. Luvussa 7 tutustutaan yrityksen tilaus-toimitusprosessiin ja esitetään miten tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan kaavionpiirto-ohjelmassa ja lisätään poralaitteen tuoterakenteelle. Luvussa 7 esitellään yrityksen ennustettava tilaus-toimitusprosessi, jonka avulla voidaan varautua tuleviin laitetilauksiin. Luvussa 7 myös tutustutaan tuotekonfiguraattorin toimintaan ja miten tuotespesifikaation muutos vaikuttaa tuotteen tilaus-toimitusprosessiin.

DD422i:n hydraulikaaviot onnistuttiin luomaan konfiguroituviksi, mutta kaaviokonfiguraattorin konfigurointimallia tulisi muokata tuotekonfiguraattorin mukaiseksi. Ideaalitalanteessa konfiguraattoreiden konfigurointikysymykset ja niiden arvot olisivat yhtenäisiä, jolloin tilauskohtainen hydraulikaavio voitaisiin konfiguroida suoraan tuotekonfiguraattorin arvojen mukaan. Luvussa 8 esitetään miten konfigurointiprosesseja voitaisiin kehittää ja pohditaan voidaanko tulevaisuudessa hydraulikaavioiden konfiguroiminen automatisoida. Lopuksi luvussa 9 kootaan diplomityössä esitetyt asiat yhteenvedoksi. Yhteenvedossa arvioidaan miten diplomityön tavoitteissa onnistuttiin ja mitkä asiat vaativat kehittämistä tulevaisuudessa.

2 TAUSTATIEDOT

Tampereen Myllypurossa on valmistettu poralaitteita jo yli 40 vuoden ajan. Tässä luvussa esitellään diplomityön kohdeyritys ja poralaite, jonka hydraulikaaviot ovat diplomityön tutkimuksen kohteena.

Luvun tarkoituksena antaa lukijalle kuva maanalaisesta poralaitteesta ja sen käyttötarkoituksesta. Useat mekaanisen poralaitteen toiminnot toteutetaan hydraulikalla, joten poralaitteen hydraulijärjestelmä on laaja.

2.1 Yrityksen esittely

Sandvik on globaali monialayritys, joka toimii usealla eri teollisuuden alalla. Sandvik Group jakautuu viiteen liiketoiminta-alueeseen: Machining Solutions, Materials Technology, Venture, Mining ja Construction. Sandvik Machining Solutions valmistaa työkaluja metallien työstämiseen. Sandvik Materials Technology kehittää korkean teknologian seosmateriaaleja, kuten teräseoksia ja keramiikkajohdemateriaaleja. Sandvik Venture muodostuu eri alojen teknologiakehitysyhtiöistä. Sandvik Mining ja Sandvik Construction valmistavat kaivos- ja rakennusteollisuudessa käytettäviä louhintaj- ja materiaalinkäsittelylaitteita. Sandvikin pääkonttori sijaitsee Ruotsin Sandvikenissä. Yrityksellä on useita toimipisteitä ympäri maailmaa. (Sandvik 2015a)

Sandvik Mining and Construction Oy valmistaa Suomessa maarakennuksen- ja kaivosteollisuuteen sijoittuvia laitteita. Yhtiö kuuluu Sandvik-konserniin ja siihen on yhdistetty suurin osa Sandvikin Suomen toiminnoista. Sandvik Mining ja Sandvik Construction ovat yhtiön suurimmat liiketoiminta-alueet, mutta yhtiöön kuuluu myös Sandvik Machining ja Sandvik Materials Technologyn Suomen toiminnot. (Sandvik 2015b)

Yrityksellä on Tampereen lisäksi tehtaot myös Turussa, Lahdessa ja Hollolassa. Tampereen tehtaon tuotevalikoimaan kuuluu sekä maanalaisia että maanpäällisiä poralaitteita. Tampereen tehtaalla sijaitsee myös testikaivos ja porakonetehtas, jossa suunnitellaan ja valmistetaan poralaitteissa käytetyt hydrauliset ja paineilmakäyttöiset porakoneet. Sandvik Mining and Construction Oy:n maanalaiseen poralaitetuotantoon kuuluvat kaivos- ja tunnelijumbot, pitkäreikäporauslaitteet ja tunnelinlujituslaitteet. (Majander 2011)

Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehtaon historia pohjautuu Tamperelaiseen konepajaan Oy Tampella Ab:hen. Tampella alkoi valmistaa paineilmaporalaitteita nimellä Tampella Tamrock. Aluksi poralaitteet valmistettiin Tampellan tehtaassa, mutta vuonna 1972 Tampella rakensi tehtaon Myllypuroon, jonne poralaitteiden tuotan-

to siirrettiin. Vuonna 1975 Tamrock lanseerasi ensimmäisen hydraulisella porakoneella varustetun porausjumbon. Hydraulisen porakoneen kehittäminen on ollut avainasemassa yrityksen menestymisessä poralaitemarkkinoilla. 1990-luvun laman vuoksi Tamrock Oy joutui talousvaikeuksiin, jolloin Sandvik alkoi ostaa yrityksen osakkeita. Tamrock siirtyi kokonaan Sandvikin omistukseen 1997, jolloin yrityksen nimi muuttui muotoon Sandvik Tamrock. Myöhemmin Sandvik yhtenäisti kaikki brändinsä Sandvik nimen alle. (Harri 2008)

2.2 DD422i poralaite

Diplomityössä hydraulikaaviot tuotetaan uudella kaavionpiirto-ohjelmistolla DD422i:lle. DD422i on uuden sukupolven hydraulinen kaivosjumbo. Tuote pohjautuu DD400-sarjan yksi- tai kaksipuomisiin maanalaisiin poralaitteisiin, joita käytetään kaivostunnelin peränporaukseen. Poralaitteella porataan tunnelin peräseinään vaakatasoon reikiä, jotka panostetaan ja räjäytetään. Poralaitteella porataan reikiä useimmiten vaakatasossa, mutta sillä on mahdollista porata reikiä myös pystysuoraan tunnelin kattoon tunnelin lujituspultteja varten. Kuvassa 1 on esitetty kaksipuominen DD422i poralaite.



Kuva 1. DD422i kaivosjumbo (Sandvik 2015c)

Poralaitteen suunnittelussa on kiinnitetty huomioita poralaitteen konfiguroitavuuteen. Tuote on kehitetty edellisiä versioita modulaarisemmaksi ja poralaitteen ominaisuuksia on pyritty vakioimaan ja standardisoimaan. Tuotteen laajasta varioituvuudesta huolimatta poralaitteen tuoterakenteen suunnittelussa on onnistuttu. Poralaitteyksilön tuoterakenne konfiguroidaan tuotetiedonhallintajärjestelmän tuotekonfiguraattorilla. Poralaitteen alusta toimii hyvin samanlaisena myös pitkäreikä- ja lujituslaitteissa. Uutta DD422i:ssä ovat myös poralaitteen ohjaamo ja automaatiojärjestelmä. (Sandvik 2015d)

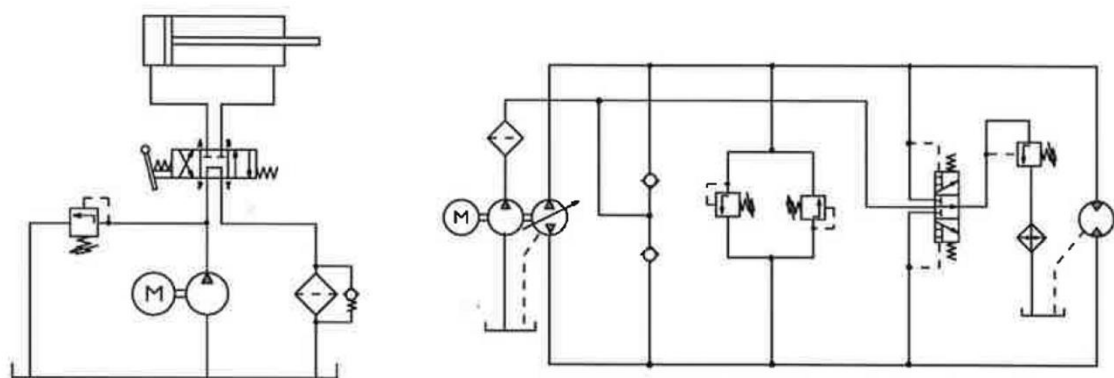
3 HYDRAULIJÄRJESTELMÄN DOKUMENTOINTI

Hydrauliikka- ja pneumatiikkajärjestelmissä tehoa siirretään ja ohjataan väliaineen paineen ja virtauksen avulla. Hydraulijärjestelmissä väliaine on nestettä ja pneumatiikkajärjestelmissä väliaine on kaasua. Hydraulikaavio koostuu komponenttien symboleista ja kytkennöistä. (SS-ISO 1219-1:2012, s.ix)

Hydraulikaavio on yksi osa hydraulijärjestelmän dokumentaatiota. Järjestelmä olisi mahdollista esittää mekaniikkakuvien avulla, mutta tällöin komponenttien toiminta jäisi epäselväksi ja kytkentöjä olisi hankala seurata. Hydraulijärjestelmän komponenteille on kehitetty omat piirrosmerkit, joilla komponentin toiminta kuvataan yksinkertaisesti. Kaavio koostuu piirrosmerkeistä ja niiden välisistä kytkennöistä. Hydraulikaaviosta ei käy selville komponenttien ja toimilaitteiden sijoittelu sovelluskohteessa, vaan komponentit sijoitetaan kaavioon välttämättä risteäviä kytkentöjä. (Kauranne et. al. 2008, s.10)

3.1 Hydraulikaavio

Hydraulijärjestelmät jaetaan rakenteensa perusteella avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Sylinterikäyttöiset järjestelmät ovat useimmiten avoimia järjestelmiä. Moottorikäyttöiset järjestelmät, kuten ajovoimansiirto, toteutetaan useimmiten suljettuina järjestelminä (Kauranne et. al. 2008, s.5). Kuvassa 2 on esitetty avoimen ja suljetun piirin hydraulijärjestelmien kaaviot.

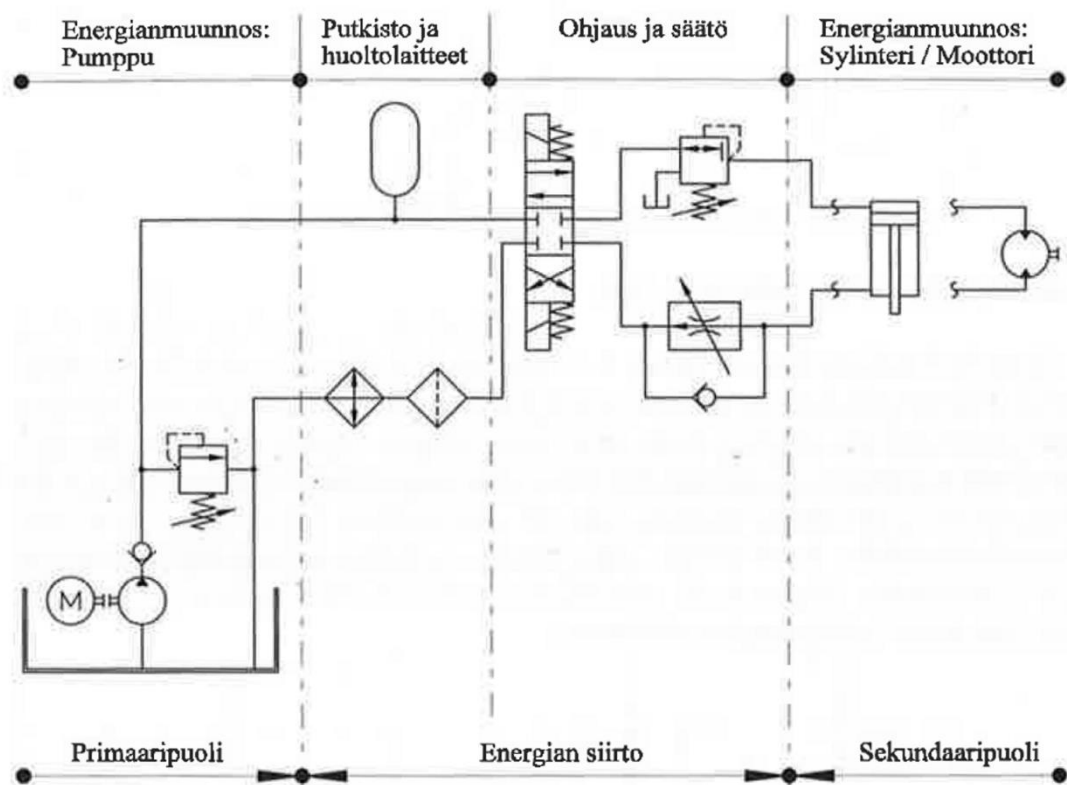


Kuva 2. Avoim ja suljettu hydraulijärjestelmä (Fonselius et. al. 2008)

Avoimessa hydraulijärjestelmässä (Kuva 2, vasen kaavio) pumpun pumpun nestettä hydraulisäiliöstä toimilaitteille. Toimilaitteita ohjataan venttiileillä ja palaava hydraulineeste ohjataan suodattimien kautta takaisin nestesäiliöön. Suljetussa hydraulijärjestelmässä (Kuva 2, oikea kaavio) toimilaitteelta palaavaa hydraulineestettä ei ohjata takai-

sin nestesäiliöön, vaan se johdetaan suoraan pumpun imulinjaan. Kuvan 2 suljetun järjestelmän kaaviossa on käytössä säätötilavuuksinen pumppu, jolla voidaan pumpata hydraulineestettä molempiin suuntiin muuttuvalla tilavuusvirralla. Tällöin hydraulimoottorin ohjaukseen ei tarvita erillisiä venttiileitä (Kauranne et. al. 2008, s.4-5).

Fonselius et al. (2008, s.1) kuvaa hydraulijärjestelmää energiansiirtoketjuna. Mekaaninen energia muutetaan hydraulipumpun avulla hydrauliseksi energiaksi, joka siirretään putkia ja letkuja pitkin hydraulisille toimilaitteille. Toimilaitteita ohjataan ja säädetään hydrauliventtiileillä. Kuvassa 3 esitetään hydraulijärjestelmän toimintojen perusteella tehtävä sisäinen jako.



Kuva 3. Hydraulijärjestelmän jako eri toimintojen perusteilla
(Kauranne et. al. 2008, s.5)

Kuten kuvasta 3 nähdään, sähkömoottori pyörittää kiinteätilavuuksista pumppua ja mekaaninen energia muutetaan primaaripuolella hydrauliseksi energiaksi. Primaaripuolelta energia siirretään sekundaaripuolelle, jossa hydraulinen energia muutetaan taas mekaaniseksi energiaksi. Hydraulineeste johdetaan primaari ja sekundaaripuolten välillä putkistojen ja huoltolaitteiden avulla. Putkistot ovat sovelluksesta riippuen, joko hydrauliputkia tai -letkuja. (Kauranne et. al. 2008, s.6)

Muita huoltolaitteita järjestelmässä ovat suodattimet ja lämmönvaihtimet. Suodattimien tehtävä on poistaa järjestelmästä epäpuhtauksia ja lämmönvaihtimet lämmittävät tai

jäähdyttävät hydraulinestettä. Pääsääntöisesti lämmönvaihtimilla jäähdytetään hydraulinestettä, koska hydraulijärjestelmissä syntyvät häviöt kuumentavat hydraulinestettä. Kylmissä olosuhteissa hydraulinestettä lämmitetään, jotta kavitaatiota ei ilmenisi hydraulipumpuissa ja painehäviöitä vältetään. (Kauranne et. al. 2008, s.6)

Avoimessa hydraulijärjestelmässä toimilaitteiden ohjaus ja säätö toteutetaan venttiileillä. Suuntaventtiilillä ohjataan toimilaitteiden liikesuuntaa. Paineenalennusventtiilillä voidaan rajoittaa toimilaitteen maksimipainetta, joka vaikuttaa sylinteriltä saatavaan voimaan tai hydraulimoottorilta saatavaan momenttiin. Säädetävällä kuristimella voidaan säätää komponentin läpäisemään tilavuusvirtaa, jolla ohjataan toimilaitteiden liikenopeuksia. (Kauranne et. al. 2008, s.6)

3.2 Hydrauliikan piirrosmerkit

Piirrosmerkki kertoo hydraulikomponentin toiminnan hydraulikaaviossa. Symbolit rakennetaan loogisesti eri toimintoja tarkoittavista osista. Piirrosmerkin pohjana on komponentin laatua merkitsevä graafinen symboli. Komponenttien sisäinen jako on esitetty kuvassa 3. (Kauranne et. al. 2008, s.8)

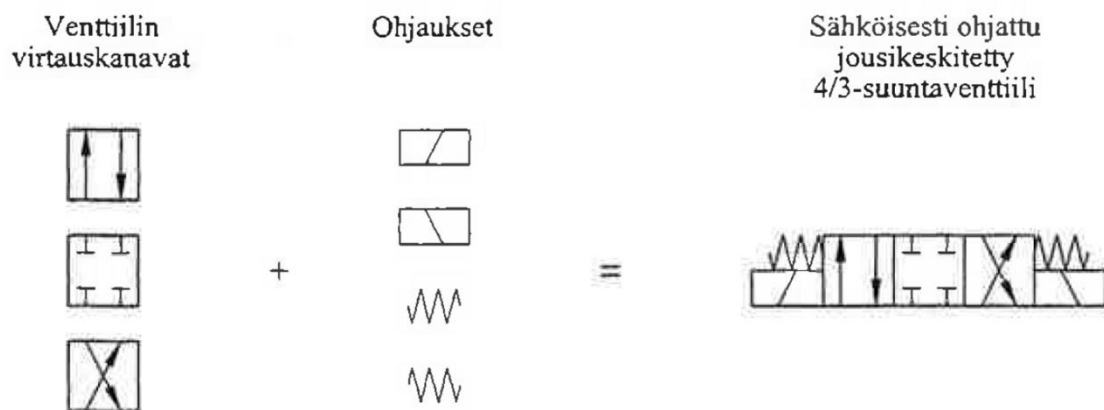
- Energian muuttamiseen tarkoitetut komponentit
 - Pumput ja moottorit
 - Symboli: ympyrä
- Ohjaukseen ja säätöön liittyvät komponentit
 - Venttiilit
 - Symboli: neliö
- Väliaineen huoltoon tarkoitetut komponentit
 - Suodattimet ja lämmönvaihtimet
 - Symboli: neliö kierrettynä 45-astetta

(Kauranne et. al. 2008, s.8)

Hydraulisylinteri on myös yleinen energian muuttamiseen tarkoitettu komponentti, mutta se piirretään yleisesti yksinkertaistettuna piirrosmerkinä riippuen sylinterin rakenteesta. Lisäksi hydraulijärjestelmässä on usein mittaamiseen käytettäviä lisälaitteita, kuten painemittareita, painekeytkimiä ja -lähettimiä. Näille komponenteille ISO 1219-standardi määrittelee omat piirrosmerkinsä. Standardi määrittää kytkentäviivalle viivanpaksuuden ja tyypin riippuen millaisesta painelinjasta on kyse. (Kauranne et. al. 2008, s.8)

Komponentin piirrosmerkki koostetaan laatua merkitsevistä symbolista, johon lisätään nesteen virtaussuunta ja mahdollinen säätö tai ohjaus. Hydrauliikassa käytetään väritettyä nuolta merkitsemään nesteen virtaussuuntaa. Pneumatiikassa nuolen päät ei väritetä. Suuntaventtiilin piirrosmerkki koostuu useammasta neliöstä, joihin on piirretty nes-

teen virtauskanavat. Piirrosmerkkiin lisätään myös venttiilin ohjaustapa, jolla nesteen virtausta muutetaan. Venttiili voi olla sähkö- tai paineohjattu tai käyttäjä voi ohjata sitä manuaalisesti vivulla tai kahvalla. Mikäli venttiili on jousipalautteinen, myös jouset tulee piirtää piirrosmerkkiin. Kuvassa 4 esitetään sähköohjatun 4/3-suuntaventtiilin piirrosmerkin koostaminen osasymboleista.



Kuva 4. 4/3 suuntaventtiilin piirrosmerkin rakentaminen osasymboleista (Kauranne et. al. 2008, s.9)

Venttiilin piirrosmerkki rakentuu kolmesta eri virtauskanavan symbolista, jota kutsutaan kopiksi. Kuvan 4 suuntaventtiili koostuu kolmesta eri kopista, joiden tilaa ohjataan sähköisesti. Kun venttiiliä ei ohjata, jouset palauttavat venttiilin suljettuun keskiasentoon (Kauranne et. al. 2008). ISO 1219-1:2012 antaa tarkat ohjeet piirrosmerkkien piirtämiselle. Piirrosviivan tyyppi ja paksuus on määritetty standardissa kuten myös venttiilin koppikoko ja moottorin ympyrän halkaisija.

3.3 Standardinmukainen hydraulikaavio

Hydraulikomponenteille on kehitetty piirrosmerkkejä kuvaamaan komponentin toimintaa selkeästi ja yksinkertaisesti. Hydraulikomponentteja valmistetaan maailmanlaajuisesti, joten on tärkeää että komponenttien piirtämiselle on säädetty selkeät yhteiset standardit (Fonselius et.al. 2008, s.4). Standardien mukaisten piirrosmerkkien avulla kaaviot ovat yksiselitteisesti tulkittavissa useissa eri maissa ja niitä ymmärretään vaikka henkilöt eivät puhuisi samaa kieltä (Trinkel 2006). Lisäksi standardienmukainen kaavio sisältää vaaditun informaation ja on tällöin vaatimusten ja säädösten mukainen.

Kansainväliset yhdistykset säätelevät ja valvovat standardeja. Standardeja muutetaan tarvittaessa tai niihin lisätään tarvittavaa informaatiota, jotta standardit pysyvät ajan tasalla. Järjestöt julkaisevatkin standardeista uusia versioita tasaisin väliajoin, jotka kumoavat entiset standardit. Hydrauliikan piirrosmerkeille ja kaavion piirtämiselle käytetään laajalti kansainvälisen ISO-järjestön (The International Standards Organisation) säätä-

miä standardeja. Muita maailmalla käytössä olevia hydrauliiikan standardeja säättäviä järjestöjä ovat Yhdysvaltalainen ANSI (The American National Standards Institute) ja Australialainen AS (The Australian Standard). Edellä mainitut standardit kuitenkin mu-
kailevat paljon kansainvälisiä ISO-standardeja. (Trinkel 2006)

Suomessa standardeista vastaa SFS (Suomen standardoimisliitto SFS RY). SFS:n stan-
dardit pohjautuvat pääasiassa ISO:n tai eurooppalaisen standardoimisjärjestö CEN:n
(Comité Européen de Normalisation) standardeihin. Suomalaiset hydrauliiikkastandardit
ovat lähes suoria käännöksiä ISO-standardeista. (SFS 2015)

Hydraulikaavioiden ja piirrosmerkkien piirtämiseen on käytössä ISO-1219 standardi.
Uusimmat versiot standardista ovat ISO 1219-1:2012 ja ISO 1219-2:2012. Standardi on
jaettu kahteen osaan: Ensimmäinen osa sisältää piirrosmerkin piirtämisen standardit ja
toinen osa käsittelee hydraulikaavion piirtämistä. (SS-ISO 1219-1 2012)

ISO-1219-2 (2012) 4.1 antaa seuraavanlaiset yleiset ohjeet hydraulikaavion piirtämisel-
le:

- Kaaviot tulee olla selkeästi piirretyt. Järjestelmän toimilaitteiden toiminta ja oh-
jaus tulee tulla ilmi kaavioista.
- Kaavion tulee esittää kaikki järjestelmän komponentit ja kytkennät.
- Kaavioiden ei tarvitse kuvata komponenttien fyysistä sijoittumista järjestelmäs-
sä.
- Järjestelmän kaavioiden ja muiden dokumenttien tulee muodostaa yhtenäinen
dokumenttikokonaisuus, johon on merkitty järjestelmän identifioitu koodi.
- Eri väliaineita käyttävät kaaviot tulee piirtää eri lehdille (hydrauliiikka, pneuma-
tiikka ja voitelu).
- Kaaviot tulee piirtää siten että ne voidaan esittää A4 tai A3 paperiformaateilla.
Mikäli suurempia formaatteja tarvitaan, kaaviot taitellaan A4-kokoisiksi.
- Kaaviot tulee piirtää siten, että kytkennät risteävät mahdollisimman vähän.
- Piirrosmerkkien tekstit eivät saa ylittää piirrosmerkkien tai kytkentöjen viivoja.
- Järjestelmän monimutkaisuudesta riippuen kaaviot voidaan jakaa toiminnalli-
suuden perusteella useammalle sivulle. Yhdellä sivulla tulisi näyttää järjestel-
män osa toimilaitteineen ja ohjauksineen.
- Alikokoonpanot määritetään pistekatkoviivalla.
- Toimilaitteiden aktivoimat asentokytkimet tulee esittää.

Standardi määrittää toimintatavan hydraulikaavion piirtämiselle. Hydraulikaavion ra-
kenne riippuu pitkälti hydraulijärjestelmän monimutkaisuudesta. Yksinkertainen hyd-
raulijärjestelmä voidaan kuvata yhdellä piirroslehdellä. Jos järjestelmä on laaja käsittäen
useita eri toiminnallisuuksia, hydraulikaavio kannattaa jakaa osiin toimintoperusteisesti.
Yrityksen hydrauliikkasuunnitteluosastolla hydraulikaaviot jaetaan toimintakaavioon ja
järjestelmäkaavioihin. Toimintakaavio esittää poralaitteen hydraulijärjestelmän ja sen

kytkennät yhdellä sivulla. Toiminnallisuuden perusteella jaetut järjestelmäkaaviot esittävät tarkemmin poralaitteen hydraulijärjestelmän yksittäisen osan, esimerkiksi poralaitteen ohjaus- ja jarrujärjestelmän. Järjestelmäkaavioihin on merkitty hydrauliletkujen osanumerot, joiden avulla hydrauliletkut kytketään poralaitteen tuotannossa.

3.4 Hydraulikaavion käyttäjät

Hydraulikaavioita käyttävät useat yrityksen työntekijät sekä asiakkaat. Henkilöiden hydraulikan tuntemus vaihtelee suuresti eri ryhmien välillä. Hydraulikaavion tulee sisältää riittävästi informaatiota, jotta se palvelee tuotantoa mahdollisimman hyvin. Tuotannon työntekijät tuntevat laitteet ja heidän on helppo pyytää suunnittelulta tukea tarvittaessa. Toisaalta hydraulikaavioita käyttävät Sandvikin huolto-organisaation lisäksi asiakkaan huolto-organisaatio ja poralaitteiden operaattorit. Heille poralaite voi olla tuntematon, eikä heillä välttämättä ole paljoa kokemusta poralaitteen hydraulijärjestelmästä itsestään tai sen dokumentoinnista. Tällöin selkeän ja informatiivisen hydraulikaavion merkitys korostuu. Paturi on diplomityössään (2010) esittänyt Sandvikin hydraulikaavioiden käyttäjäryhmiä ja mihin tarkoitukseen he käyttävät kaavioita:

- Uuslaite- ja nykylaitesuunnittelu (mekaniikka-, hydraulikka-, automaatio-, ja sähkösuunnittelu)
 - Sandvikin tuotekehityskeskukset (olemassa olevien ratkaisujen löytäminen)
 - Yhteistyökumppanit (osajärjestelmien ja komponenttien toiminta)
 - Valmistava tuotanto (letkutus- ja kytkentäkaaviot)
 - Viimeistelevä tuotanto (säätöohjeet ja vian etsintä)
 - Ohjekirja ja asiakas (kuinka laite toimii)
 - Varaosakirja ja asiakas (komponentit ja letkuluettelot)
 - Huolto ja asiakas (vianhaku ja komponenttien tunnistus)
 - Markkinointi ja asiakas (uusien ominaisuuksien esittely)
- (Paturi 2010 s.25)

Hydraulikaavioilla on lukuisia eri käyttäjäryhmiä, jotka käyttävät kaavioita eri tarkoituksiin. Samat kaaviot ovat käytössä niin myynti- kuin koulutustehtävissäkin, missä hydraulijärjestelmä esitetään asiaan perehtymättömille.

3.5 Hydraulikaavioiden vaatimukset

Yrityksessä on tehty selvitys, millä tavalla poralaitteiden käyttäjät haluaisivat, että hydraulikaavioita kehitetään nykyisistä. Vaatimukset hydraulikaavioille on kerätty yrityksen huolto-organisaatioiden ja myyntiyritysten tuoteinsinööreiltä ja tekniloilta. Tietoa on siis kerätty henkilöiltä, jotka työskentelevät laitteiden parissa yhdessä asiakkaiden kanssa ja käyttävät hydraulikaavioita. Selvitys on tehty osana uuden kaavionpiirto-ohjelmiston käyttöönottoprojektia, jotta uudella ohjelmistolla piirretyt kaaviot palvelisi-

vat kaavioiden loppukäyttäjiä mahdollisimman hyvin. Raportti ottaa kantaa myös sähkökaavioiden kehittämiseen. (Albert & Point 2013)

Raportin pääkohdat ovat seuraavat:

1. Kaaviot tulee esittää yhtenä tilauskohtaisena kaaviodokumenttina, joka sisältää laitteen hydraulii- ja sähkökaaviot
2. Kansilehti tilauskohtaiselle kaaviodokumentille, jossa esitetään laitteen tiedot
3. Kaavioiden ulkoasu
 - a. Kaavioiden yhtenäistäminen eri tehtaiden välillä
 - b. Lehtien järjestelmällinen numerointi
 - c. Kaaviot oltava luettavissa A4-formaatissa
 - d. Kaavioiden kokonaissivumäärään on kiinnitettävä huomiota, vältettävä kaksinkertaista dokumentointia
 - e. Standardinmukaiset kaaviot
 - f. Kaavioiden kieli on englanti
 - g. Värien käyttäminen kytkentäviivoissa
4. Ristiviittaukset hydraulii- ja sähkökaavioiden välille kaaviodokumentissa
5. Toimintakaavio, jossa esitetään laitteen hydraulijärjestelmä yksinkertaistettuna
6. Kaaviodokumenttiin lisättävä lista hydraulijärjestelmän komponenteista ja letkuista

(Albert & Point 2013)

Raportista käy vahvasti ilmi vaatimus tilauskohtaisille kaavioille. Hydraulikaavioita käyttävät henkilöt toivovat kaavioiden olevan selkeästi kohdistettuja yhdelle tietylle laitteelle. Laitteiden geneeriset kaaviot on koettu epäselviksi, ja ne hankaloittavat laitteen hydraulijärjestelmään rakenteen ymmärtämistä ja hidastavat huoltotoimenpiteitä. Tilauskohtaiset kaaviot esittävät vain ne komponentit, mitä laitteen hydraulijärjestelmä sisältää. Kun huoltohenkilöstöllä ei ole tarkkaa tietoa koneen rakenteesta, väärinkäsitykset huoltotoimenpiteissä ovat mahdollisia ja voivat johtaa vaaratilanteisiin. Siksi kaavioiden tulisi olla selkeitä ja yhdenmukaisia laitteiden rakenteiden kanssa.

Tilauskohtaisen kaaviodokumentin tulisi sisältää laitteen hydraulii- ja sähkökaaviot samassa dokumentissa. Laitteen huoltaminen olisi selkeämpää yhden kaaviodokumentin avulla. Kaavioiden tulisi sisältää ristiviittaukset hydraulii- ja sähkökaavioiden välillä. Ristiviittaukset nopeuttavat laitteen huollossa vianetsintää, kun komponentit on helppo paikallistaa eri kaavioiden välillä. Kaaviodokumentti varustetaan kansilehdellä, josta käy ilmi laitteen sarjanumerokohtaiset tiedot. Tällä tavalla kaaviot liitetään tiettyyn laitteeseen, eikä niitä voi sekoittaa toiseen laiteyksilöön. Kaavioissa käytettävät komponentit ja letkut tulee esittää kaaviodokumentissa komponenttilistana. Komponentit on varustettava yksilöllisellä komponenttitunnuksella, jotta yksittäisten komponenttien tunnistaminen kaaviossa on selkeää.

Kaavion ulkoasuun kohdistuvat vaatimukset ovat hyvin pitkälle yhdenmukaisia hydraulikaaviota koskevan standardin ISO-1219:n kanssa. Hydraulikaavioiden käyttäjät arvostavat selkeitä ja havainnollisia kaavioita, jotka tarjoavat riittävästi informaatiota hydraulijärjestelmästä ja sen komponenteista. Tärkeimmäksi kaavioiden ulkoasua koskevaksi vaatimukseksi voidaan nostaa kaavioiden yhdenmukaisuus eri tehtaiden välillä.

Yritys valmistaa eri puolilla maailmaa erilaisia kaivoslaitteita, kuten poralaitteita, lastauslaitteita ja murskaimia, joten toimintatavat eroavat eri tehtaiden suunnitteluosastojen välillä. Eri toimintatavat ovat kehittyneet tehtaiden historian aikana, jolloin useat tehtaat toimivat itsenäisinä yrityksiä. Nykyiset Sandvik Miningin tehtaat ovat yhdistyneet yritysosojen kautta yhdeksi yhtiöksi. Erilaisten käytäntöjen takia hydraulikaavioiden ulkoasu vaihtelee tehtaiden välillä.

Huolto-organisaatiot voivat olla tekemisissä koko laitekirjon kanssa, joten huollon työntekijät törmäävät erilaisiin kaavioihin huoltaessaan laitteita kaivoksissa. Uuden suunnitteluohjelman käyttöönoton yhteydessä tulee yrityksen kehittää yhteinen toimintatapa kaavioiden tuottamiseen. Kun jokainen suunnitteluosasto tuottaa kaavionsa standardimukaisiksi, kaaviot ovat toistensa kanssa yhdenmukaisia. Saman kaavionpiirto-ohjelmiston ollessa käytössä voidaan käyttää myös yhteistä komponenttikirjastoa.

Standardi ei vaadi värien käyttämistä hydraulikaavioissa, mutta kaavioiden käyttäjät kuitenkin toivoivat värejä selkeyttämään kytkentöjen painetasoja. Värien käyttö selkeyttää kaavioita, mutta aina ei ole aivan yksikäsitteistä miten niitä käytetään. Esimerkiksi suuntaventtiilin vaihtaessa asentoaan korkeapainelinja ja matalapainelinja vaihtuvat toimilaitteen ja venttiilin kytkennöissä.

Toimintakaavio nähdään tarpeellisenä dokumentaationa järjestelmäkaavioiden ohella. Järjestelmien väliset kytkennät on helpompi hahmottaa yhdellä sivulla esitetystä toimintakaaviosta, jossa on esitetty laitteen hydraulijärjestelmä kokonaisuudessaan. Toimintakaaviosta on apua erityisesti vianetsinnässä. Järjestelmien välisien kytkentöjen etsiminen järjestelmäkaavioista on työlästä, koska järjestelmät esitetään eri sivuilla ja kytkennät ”katkeavat” kaaviolehtien välillä.

4 KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN HALLINTA

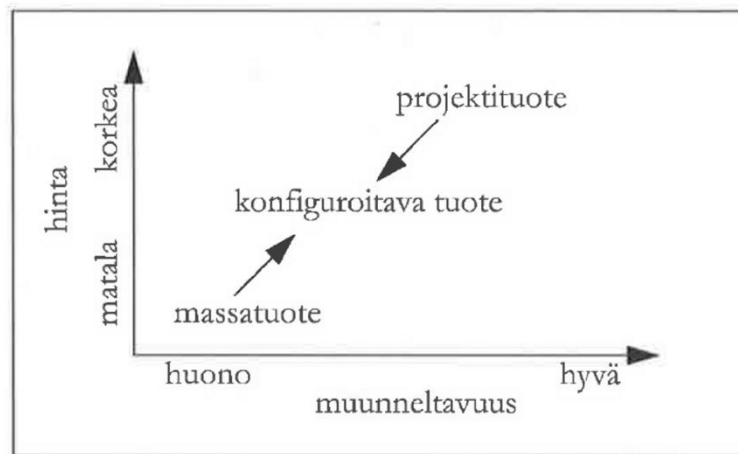
Konfiguroitavalla tuotteella voidaan vastata laajasti asiakasvaatimuksiin käyttämättä paljoa suunnitteluresursseja tuotteen tilauskohtaiseen suunnitteluun. Tuote on kuitenkin erikseen suunniteltava konfiguroituvaksi, jolloin se asettaa haasteita tuotteen suunnittelulle.

Konfiguroituvan tuotteen varioiminen perustuu esisuunniteltuihin elementteihin, jotka esitetään tuotteen tuoterakenteessa. Suunnittelun ja tuotannon erillisillä tuoterakenteilla tuoterakenteen kokoonpanot voidaan ryhmitellä molempien käyttäjäryhmien tarpeiden mukaisesti.

4.1 Konfiguroituva tuote

Asiakaskohtaisesti muunneltava eli konfiguroitava tuote on massatuotteen ja yksittäistuotteen kompromissi (Soininen et al. 1997, Järventausta 1998 mukaan). Konfiguroitavilla tuotteilla voidaan hallita suuri määrä tuotevariantteja ja vastata tarkasti asiakastarpeisiin. Konfiguroitava tuote suunnitellaan siten, että asiakaskohtainen tuotteen muuntelu on helppoa ja sujuvaa (Tiihonen & Soininen 1997). Konfiguroitavalla tuotteella voidaan minimoida tilauskohtainen suunnittelutyön määrä, jolloin resursseja vapautuu tuotekehitykseen (Tiihonen 1999, s. 40).

Kuvassa 5 on esitetty konfiguroitavan tuotteen joustavammat ominaisuudet suhteessa massa- tai projektituotteisiin. Kuvan 5 kaaviossa pystyakselilla kuvataan tuotteen hinta ja vaaka-akselilla tuotteen muunneltavuus. Projektituote suunnitellaan asiakkaan vaatimuksien mukaan. Projektituotteen hinta on korkea, koska se suunnitellaan projektikohtaisesti. Massatuote sijoittuu kuvaajan alalaitaan. Massatuotteen hinta pysyy matalana, koska saman tuotteen suunnittelukustannukset jakautuvat usealle tuotteelle, mutta massatuotteen ominaisuuksia ei ole mahdollista muunnella. Konfiguroituva tuote sijoittuu näiden tuotteiden välimaastoon, jolloin siinä on molempien tuotteiden hyviä ominaisuuksia.



Kuva 5. Konfiguroitavan tuotteen vertailu massa- ja projektituotteisiin
(Peltonen et al. 2002, s. 80)

Kuten kuvasta 5 nähdään, tuotteen kehittämistä konfiguroitavaksi tuotteeksi voidaan lähestyä sekä massa- että projektituotteiden suunnista. Massatuotteita tekevä yritys voi monipuolistaa tuotetarjontaansa ja vastata paremmin asiakasvaatimukseen kehittämällä tuotteensa konfiguroitaviksi. Täysin tilauskohtaisia projektituotteita tekevä yritys voi vähentää tilauskohtaista suunnittelun määrää ja laskea tällä tavoin tuotekohtaisia kustannuksia. Siirtymällä konfiguroitavaan tuotteeseen halutaan yhdistää molempien tuotteiden etuja. (Tiihonen 1999)

Lehtonen (2007) esittää väitöskirjassaan Konsta tutkimusprojektissa kootun määritelmän konfiguroitavalle tuotteelle:

1. Jokainen toimitettu tuote on yksilö, joka vastaa asiakkaan vaatimuksia
2. Tuoteyksilö koostuu ainoastaan valmiiksi suunnitelluista elementeistä
3. Tilaus-toimitusprosessin aikana tarvitaan vain systemaattista rutiinisuunnittelua sovitettaessa valmiiksi suunniteltuja elementtejä yhteensopiviksi.
4. Toimitettavat tuoteyksilöt pohjautuvat ennalta suunniteltuun yleiseen tuoterakenteeseen. Geneerisen tuoterakenteen variaatiot on tehty huomioimaan markkinoiden tarpeita.

Konfiguroituvan tuotteen määritelmän kohdassa 1 ja 2 kerrotaan, että konfiguroituva tuote on asiakkaan vaatimusten mukaan toimitettu tuote, joka on koostettu valmiiksi

suunnitelluista elementeistä. Tuoterakenteen variaatioiden määrä vaikuttaa siihen, miten hyvin asiakkaan tarpeisiin voidaan vastata. Kohdassa 4 kerrotaan myös, miten tarjotut variaatiot valitaan, jotta niillä voitaisiin vastata tarkasti asiakasvaatimuksiin. Asiakas valitsee tuotteeseensa ominaisuudet eri vaihtoehtoista, joita on rajallinen määrä.

Konfiguroituva tuote edellyttää yleensä modulaarista tuoterakennetta. (Lehtonen 2007) Ennalta suunniteltuja moduuleita voidaan käyttää toistuvasti laitevariaatioita luotaessa. Konfiguroituva tuote pohjautuu geneeriseen tuoterakenteeseen, joka sisältää kaikki tuotteen valmiiksi suunnitellut moduulit. Kuten kohdassa 3 kerrotaan, yhdistelemällä geneerisen tuoterakenteen valmiiksi suunniteltuja moduuleja tilauskohtainen suunnittelu vähenee merkittävästi. Konfiguroituvan tuotteen etu on vähäinen suunnitteluresurssien tarve tilaus-toimitusprosessin aikana.

Modulaarinen tuote rakentuu erillisistä rakennuspalikoista eli moduuleista, joilla on selkeät rajapinnat tuotteessa. Modulaarisessa tuoterakenteessa eri osakokoonpanot on jaettu moduuleihin tuoterakenteen riveille. (Ahoniemi et al. 2007) Modulaarisessa tuoterakenteessa lopullinen tuote voidaan rakentaa erilaisista moduulikokoonpanoista. Lopullinen tuote koostuu optioista ja varianteista, jotka tarjoavat tiettyjä ominaisuuksia tuotteeseen. Optio on lisävaruste, jonka asiakas halutessaan voi sisällyttää tuotteeseensa. Tuotteeseen valitaan yksi vaihtokelpoinen variantti valitun toiminnan perusteella. Variantteja voi olla useita, joista yksi valitaan lopulliseen tuotteeseen. Modulaarisissa tuoterakenteissa optiot voidaan jaotella eri moduuleihin. Optiomoduuli sisällytetään laitteen tuoterakenteeseen, mikäli asiakas haluaa sen tarjoaman ominaisuuden tuotteeseensa. Vaihtokelpoinen varianttimoduuli valitaan asiakkaan toiveiden mukaisesti. (Jahnukainen et al. 1996)

Konfiguroituva tuote rakennetaan esisuunnitelluista moduuleista, jolloin voidaan vastata hyvin asiakastarpeisiin, mutta pitää tilauskohtainen suunnittelu vähäisenä. Konfigurointi tarkoittaa tuotevariantin luomista valitsemalla tuotteeseen yhteensopivat moduulit. Jyväsjärvi (2000) esittää diplomityössään tavoitteita mitä konfiguroituvalla tuotteella saavutetaan:

1. Tuotteen läpimenoajan lyheneminen
2. Tilauskohtaista suunnittelua sisältämättömän tilaus-toimitusprosessin käyttöönotto
3. Standardointi tuotetasolla
4. Suunnittelutiedon uudelleenkäyttö
5. Suunnitteluresurssien kohdentaminen esisuunnitteluun ja mallintamiseen
6. Tiedonkulun ja hallinnan paraneminen
7. Laadun paraneminen

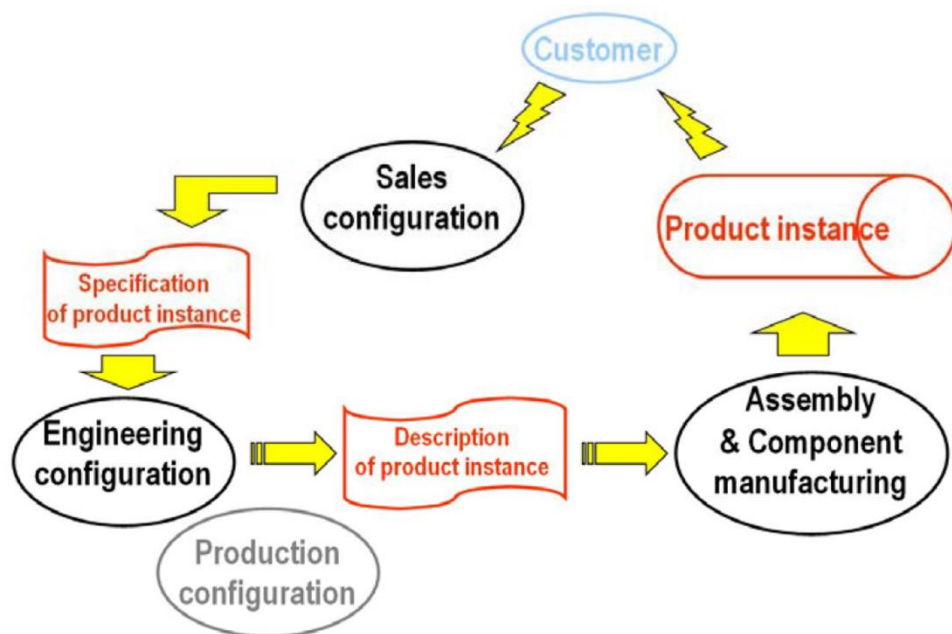
Konfiguroituva tuote nopeuttaa tuotteen läpimenoaikaa, kun tilauskohtainen suunnittelu on minimissään. Se myös vähentää kustannuksia tilaus-toimitusprosessin aikana. Konfiguroituvan tuotteen rakennetta voidaan standardoida. Osat, jotka eivät vaikuta tuotteen

toiminnallisuuteen voidaan vakiodia, jolloin tuotevarianttien muodostamiseen voidaan käyttää mahdollisimman paljon standardisoituja osia.

4.2 Konfigurointiprosessi

Lehtonen (2007) on väitöskirjassaan esittänyt tilaus-toimitusprosessin, jossa lopullista tuoteyksilöä ei määritetä kerralla. Tuotteen lopullinen määrittely tarkentuu useamman konfigurointiprosessin aikana. Tilaus-toimitusketjussa on tunnistettavissa kaksi konfigurointiprosessia: myyntikonfigurointi (engl. sales configuration) ja tuotantokonfigurointi (engineering configuration). Konfigurointiprosessit jaetaan useimmiten kahtia, koska ne palvelevat eri tarkoituksia.

Peltonen et al. (2002) määrittelee eri konfigurointiprosessit seuraavalla tavalla. Myyntikonfiguroinnissa asiakas valitsee tuotteensa ominaisuudet. Tuotantokonfiguroinnissa puolestaan luodaan tilaukselle tuoterakenne, jonka avulla on mahdollista rakentaa asiakkaan vaatimukset täyttävä tuote. Kuvassa 6 on esitetty tilaus-toimitusprosessin vaiheet. Myyntikonfigurointi luo asiakkaan toiveiden mukaisen tuotespesifikaation. Tuotespesifikaation avulla voidaan konfiguroida tuotteen tilauskohtainen tuoterakenne. Tuoterakenteesta esitettyjen moduulien ja komponenttien perusteella voidaan rakentaa tuotevariantti, joka sisältää asiakkaan valitsemat ominaisuudet.



Kuva 6. Konfiguroitavien tuotteiden tilaus-toimitusprosessi (Lehtonen 2007, s.71)

Asiakas on enemmän kiinnostunut tuotteen ominaisuuksista, toimitusajasta ja hinnasta, kuin tuotteen tarkasta komponenttimääritelmästä. Tietojärjestelmäpohjaisella myyntikonfiguraattorilla myyjä voi esittää asiakkaalle välittömästi, miten tietyn ominaisuuden valinta vaikuttaa tuotteen hintaan, toimitusaikaan ja muiden ominaisuuksien valittavuuteen.

teen. Myyntikonfiguraattorin ansioista myyjällä ei tarvitse olla laajaa kokemusta tuotteen eri moduulien ja komponenttien yhteensopivuudesta, jos myyntikonfiguraattori suodattaa yhteensopimattomat ominaisuusvaihtoehdot tehtyjen valintojen perusteella. Myyntikonfiguraattori voi sijaita myös internetissä, jossa asiakas koostaa itse haluamansa tuotevariantin eri ominaisuusvalintojen pohjalta. Tällöin myyjää ei välttämättä tarvita konfigurointiprosessissa. Myyntikonfiguraation tuloksena on myyntitilaus, joka on luettelo ominaisuuksista, joita tuotteelta halutaan. (Peltonen et al. 2002)

Tuotantokonfiguroinnissa tuoteyksilölle muodostetaan myyntitilauksen perusteella tuotekonfiguraatio. Tuotekonfiguraatio esitetään yleensä tilauskohtaisena tuoterakenteena yrityksen PDM-järjestelmässä. Tämän takia tuotantokonfiguroinnin olisi hyvä olla osa PDM-järjestelmää (Peltonen et al. 2002). Tuotantokonfiguroinnissa tuotekonfiguraatio muodostetaan geneerisen tuoterakenteen pohjalta. Tuotekonfiguraatiolle valitaan ne moduulit ja komponentit, joiden avulla tuote voidaan valmistaa vastaamaan asiakastarpeita. Toimituskohtainen konfiguraatio talletetaan tilauskohtaisena tuoterakenteena yrityksen PDM-järjestelmään. Tällä hetkellä tilauskohtaisen tuoterakenteen nimikkeet päivittyvät, kun nimikkeisiin tehdään muutoksia. Nimikkeiden päivittymisen takia toimituskohtaisen tuoterakenteen tallettaminen PDM-järjestelmässä ei ole mahdollista. Tilauskohtainen tuoterakenne tulisi ”jäädättää”, jolloin jälkikäteen tiedetään, mitkä nimikkeiden revisiot kuuluvat tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen.

Yritys voi palvella täysin kaikkia asiakkaita tarjoamalla vakiotuotteiden lisäksi myös osin tilauskohtaisesti suunniteltuja tuotteita. Yleensä muutokset koskevat laitteen yksittäisiä moduuleita. Tällöin tuote voidaan konfiguroida ennalta suunniteltujen moduulien osalta ja suunnitella erikseen tuotteen tilauskohtaiset moduulit laitteeseen. Tapauskohtaisesti voi olla edullisempaa suunnitella tietyt moduulit tilauskohtaisesti, kuin laajentaa merkittävästi tuotevalikoimaa. (Tiihonen & Soininen 1997)

Jahnukainen et al. (1996) eriyttää vakiotuotteiden ja osittain tilauskohtaisesti suunniteltujen tuotteiden tilaus-toimitusprosessit kahdeksi eri prosessiksi. Vakiotuotetta kutsutaan A-tuotteeksi, jolloin sen tilaus-toimitusprosessiin ei sisälly suunnittelutyötä. A-prosessissa tuote konfiguroidaan etukäteen suunniteltujen elementtien perusteella. (Järventausta 1998) B-prosessissa tilaukseen liittyy suunnittelutyötä, jonka tuotetta kutsutaan B-tuotteeksi. B-prosessissa tuote voidaan aluksi konfiguroida tuotteen konfigurointimallin sisältämien moduuleiden osalta, jonka jälkeen tilauskohtaisesti suunnitellut moduulit lisätään tilauksen tuoterakenteelle. Tiihonen (1999) jakaa tuotteet ABC-luokkiin. ABC-tuotejaossa A-tuote on vakiotuote ja C-tuote on tilauskohtaista suunnittelua vaativa tuote, samalla tavalla kuin A- ja B-tuotejaossa. ABC-tuotejaon B-tuote koostetaan esisuunnitelluista moduuleista, mutta niiden yhdistäminen vaatii tilauskohtaista suunnittelua.

Yrityksessä tilaus-toimitusprosessit jaetaan A- ja B-prosesseiksi. Asiakkaan halutessa muutoksia vakiotuotteeseen on kyseessä B-tuote, joka sisältää tilauskohtaista suunnittelua. (Jahnukainen et al. 1996) A-prosessissa tuote konfiguroidaan tilaus-toimitusprosessissa. B-prosessissa tilauskohtaista tuoterakennetta ei voida konfiguroida täydellisesti, koska tuoterakenteeseen sisältyy geneeriseen tuoterakenteeseen kuulumattomia osakokonaisuuksia. B-tuotteen tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan tuotevalikoimaan sisältyvien moduulien osalta, jonka jälkeen tilauskohtaisesti suunnitellut osakokonaisuudet lisätään tilauskohtaiselle tuoterakenteelle.

4.3 Konfiguraattori

Konfiguraatioiden tekemiseen voidaan käyttää tietojärjestelmäpohjaista konfiguraattoria. Konfiguraattorit jaetaan yksittäiskäyttöisiin ja yleiskäyttöisiin. Yksittäiskäyttöinen (engl. single use) konfiguraattori on suunniteltu tietyn tuotteen konfiguroimiseen. Esimerkiksi konfiguraattori on voitu ohjelmoida yrityksen yhdelle tai useammalle tuotteelle, eikä sitä myydä muiden yritysten käyttöön. Yleiskäyttöinen konfiguraattori on oma ohjelmansa tai jonkun ohjelmiston osa, jolla voidaan konfiguroida erilaisia tuotteita eri asiakkaiden toimesta. Konfiguraattori voi kuulua PDM-järjestelmään, CAD-ohjelmaan tai ERP-järjestelmään. (Tiihonen & Soininen 1997, Kaitaranta 2011)

Konfiguraatioprosessissa ei välttämättä tarvita tietojärjestelmäpohjaista konfiguraattoria. Geneerinen tuoterakenne, jossa esitetään tuotteen kaikki mahdolliset moduulit ja komponentit, voidaan esittää myös tuoterakennetaulukkona. Tuoterakennekäsittelijä valitsee tuoterakennetaulukosta oikeat moduulit ja komponentit myyntitilauksessa esitetyn spesifikaation perusteella (Niemistö 2011). Yhteistä molemmille konfigurointitavoille on, että molemmat tarvitsevat konfigurointimallin. Konfigurointimallin perusteella voidaan yhdistellä yhteensopivat osakokonaisuudet, jotka muodostavat toteuttamiskelpoisen konfiguraation.

Konfigurointimalli on konfiguroituvan tuotteen systemaattinen dokumentaatio, joka mahdollistaa konfigurointiprosessin. (Nummela 2006) Konfigurointimalli koostuu säännöistä ja rajoitteista, jotka määrittävät mitkä elementit ovat toistensa kanssa yhteensopivia. Konfigurointimalli esittää mitkä vaihtoehdot ovat keskenään yhteensopivia ja estää konfiguroijaa tekemästä toteuttamiskelvottomia konfiguraatioita (Pulkinen 2007, Tiihonen & Soininen 1997). Konfigurointimalli luodaan tietojärjestelmäpohjaiseen konfiguraattoriin ohjelmallisesti. Konfiguraatiomalli koostuu säännöistä, jonka mukaan voidaan muodostaa toteuttamiskelpoinen konfiguraatio. Konfiguraattorissa on mahdollista suodattaa pois virheelliset vaihtoehdot tai luoda virheilmoituksia, jotka varoittavat konfiguroijaa tehdyistä virheistä.

Tiihonen (1999) esittää lisensiaatintyössään etuja, joita konfiguraattorin käyttämisellä saavutetaan. Konfiguraattorin käyttäminen konfigurointiprosessissa vähentää virheitä merkittävästi. Lisäksi konfiguraatioiden tekeminen konfiguraattorilla on nopeampaa ja

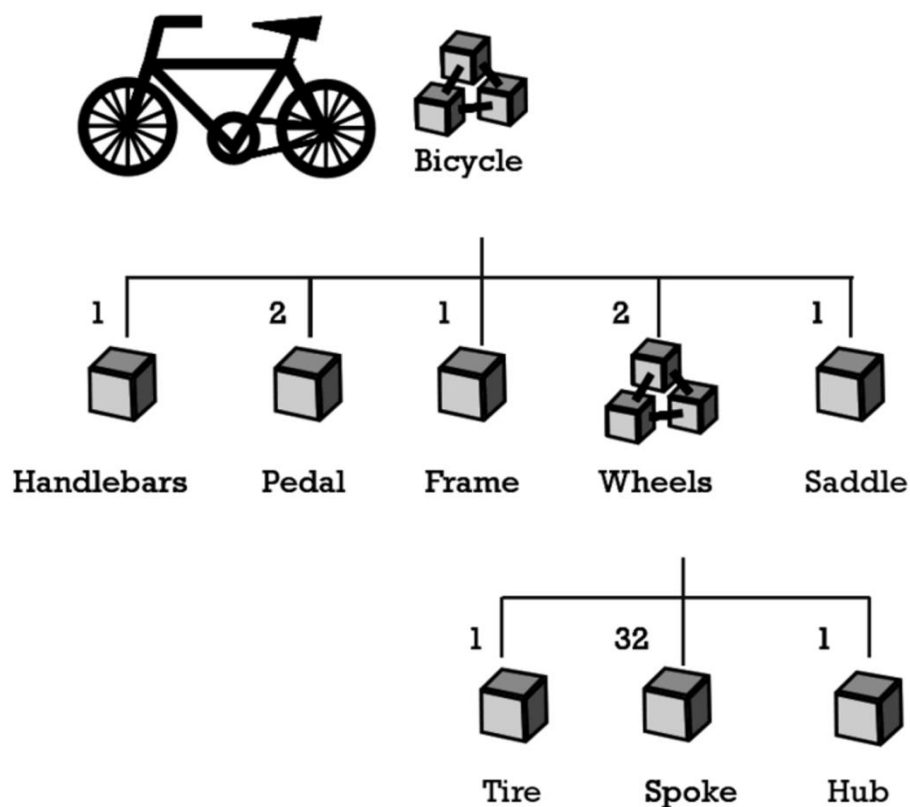
laadukkaampaa. Tiihosen ja Soinisen (1997) mukaan konfiguraattorin käyttöönotto selkeyttää ja nopeuttaa tilaus-toimitusprosessia. Konfiguroija voi tehdä konfiguraattorin avulla täydellisiä konfiguraatioita, vaikka hän ei omaisikaan tarkkaa tuntemusta tuotteesta. Konfiguroinnin suoraviivaistumisella ja virheiden välttämällä säästetään aikaa ja kustannuksia.

Haasteita konfiguraattorin käyttämisessä pitkällä aikavälillä on konfiguraatiomallin hallitseminen, kun konfiguroituvaan tuotteeseen tulee muutoksia. Konfigurointimallin luominen konfiguraattoriin vaatii paljon työpanosta, jotta se saadaan toimimaan virheettömästi. Konfiguraatiomallin dokumentoiminen on hankalaa, mutta se on erittäin tärkeää konfigurointimallin myöhempää muokkaamista varten (Nummela 2006). Tiihonen ja Soininen (1997) nostavat konfiguraatiomallin pitkäaikaishallinnan suureksi haasteeksi konfiguraattorin käytössä. Muutokset tuotteen rakenteessa tulee päivittää myös konfiguraatiomalliin, jotta konfiguraattorilla voidaan tehdä täydellisiä konfiguraatioita. Muutosten tekeminen on helpompaa yleisiin konfiguraattoreihin, jotka tarjoavat visuaalisen käyttöliittymän. Silloin tuotteen kehittäjät voivat päivittää konfiguraatiomallin vastaamaan päivitettyä tuotetta, eikä ohjelmistoasiantuntijoiden työpanosta tarvita ohjelman muuttamisessa.

4.4 Konfiguroituva tuoterakenne

Tuoterakenne esitetään useimmiten hierarkisena rakenteena. Rakenne esitetään, kuten mekaniikkasuunnittelussa on tapana: Kokoonpano koostuu pienemmistä osista, joista se on rakennettu. Tuoterakenteessa on useita tasoja. Alemmat tasot kuuluvat ylemmän kokoonpanoon, yksittäisen komponentin ollessa tuoterakenteen alin taso. (Crnkovic et al. 2003, s. 25)

Tuoterakenne esitetään osaluetteloiden (engl. Bill of Materials, BOM) avulla. Osaluettelointi esittää kokoonpanoon kuuluvat nimikkeet luettelon riveillä. Osaluettelosta selviää myös kunkin osan positiokoodi, nimi, kuvaus ja lukumäärä. Tuoterakenteen alatasolla oleva osakokoonpano voi olla toiminnallinen moduuli (Peltonen et al. 2002). Kuvassa 7 on esitetty polkupyörän tuoterakenne yksinkertaistettuna.



Kuva 7. Polkupyörän tuoterakenne (Crnkovic et al. 2003)

Kuvasta 7 nähdään polkupyörän tuoterakenteen koostuvan kahdesta alatasosta. Polkupyörän ylätasolla on yksittäisiä komponentteja ja kokoonpanoja. Pyörä on kokoonpano, joka esittää osarakenteen omalla alatasollaan. Pyörä koostuu renkaasta, pinnoista ja navasta. Tuoterakenteessa on nähtävillä myös komponenttien lukumäärät. Valmiiseen polkupyörään tarvitaan kaksi pyöräkokoonpanoa. (Crnkovic et al. 2003) Polkupyörän tuoterakenne voitaisiin myös esittää yksitasoisena tuoterakenteena, jolloin kaikki polkupyörän komponentit sijaitsisivat samalla alarakenteella. Yksitasoisesta tuoterakenteesta on hankalampaa havaita alikokoonpanojen rakennetta. (Kariniemi 2014)

Konfiguroituvan tuotteen tuoterakenne kuvataan geneerisenä tuoterakenteena, joka sisältää kaikki tuotteeseen sisältyvät moduulit, komponentit ja dokumentit. Geneerisessä eli yleisessä tuoterakenteessa on paljon rinnakkaisia varianttiosakokonaisuuksia. Koska konfiguroitua tuotetta käsittelee lukemattomia eri tuotevariaatioita, jokaisen yksittäisten tuotevarianttien tuoterakenteiden muodostaminen etukäteen ei ole kannattavaa. Konfiguroituvan tuotteen rakenne valitaan geneerisen tuoterakenteen komponenteista konfigu-

rointimallin mukaisesti. Yksittäisen tuotevariantin tuoterakenne on suodatettu versio geneerisestä tuoterakenteesta, josta on poistettu konfiguraatioon kuulumattomat komponentit. Voidaan siis ajatella että yksittäisen tuotevariantin tuoterakenne on geneerisen tuoterakenteen tuotenäkymä. (Peltonen et al. 2002)

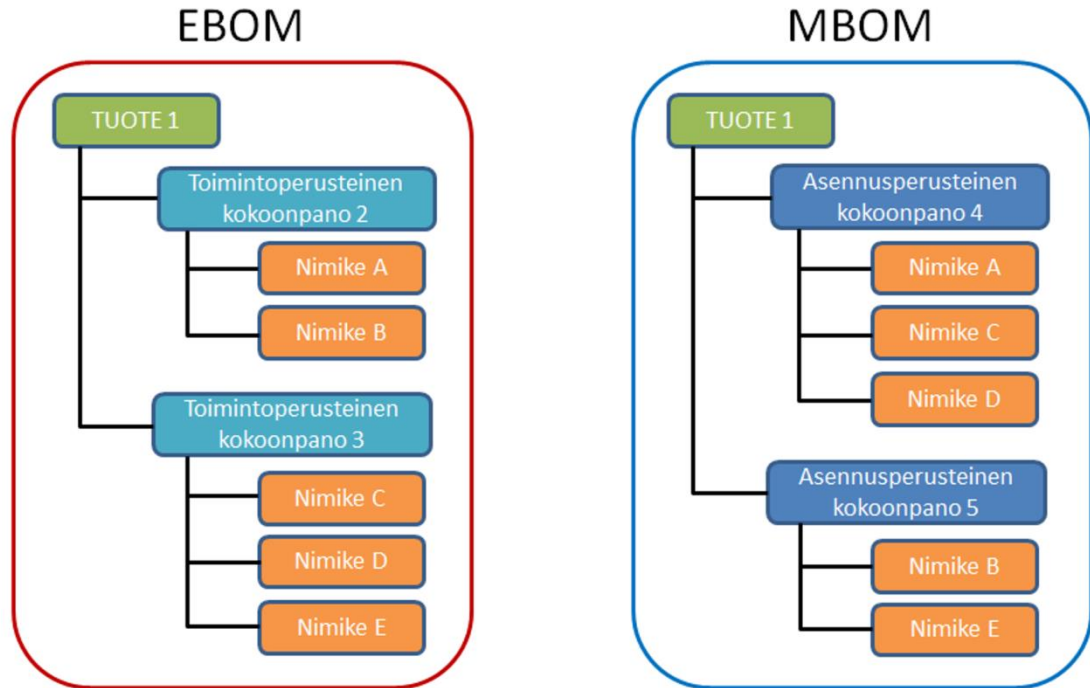
Tuotetiedonhallintajärjestelmän (engl. Product data management, PDM) tärkeimpiä tehtäviä nimikkeiden, dokumenttien ja muutosten hallinnan lisäksi on tuoterakenteen hallinta. Tuoterakenne ryhmitellään hierakiseksi pääasiassa rakenteen selkeyden kannalta. Monitasoisesta tuoterakenteesta on helpompi nähdä kokoonpanojen rakenne. Monimutkaisten tuotteiden tuoterakenteet voidaan ryhmitellä eri tavoin. Tuoterakenteen päätasot voidaan ryhmitellä esimerkiksi toimintoperusteisesti, jolloin tuotteen yhden toiminnon osakokoonpanot ja komponentit sijoitetaan tuotteen päätasoon yhteen haaraan. Usein tuotteen suunnittelijat suosivat toimintoperusteista tuoterakennetta, jolloin yhteen toimintoon liittyvät komponentit ja kokoonpanot ovat helposti löydettävissä tuoterakenteesta. Toisaalta tuotanto haluaa ryhmitellä tuoterakenteen päätasot valmistusvaiheittain. Jos tuote kokoonpannaan moduuleissa, kokoonpanoperusteinen rakennejako olisi selkein tuotannon näkökulmasta. (Peltonen et al. 2002)

4.5 Rinnakkaiset tuoterakenteet

Yksi tuoterakenne ei voi palvella kaikkia tuotteen parissa työskenteleviä sidosryhmiä parhaalla mahdollisella tavalla. Tuoterakenteesta on mahdollista tehdä rinnakkaisia tuoterakenteita, jolloin tuoterakenne voidaan sovittaa kullekin käyttäjäryhmälle sopivaksi. (Kariniemi 2014)

Yrityksessä voidaan käyttää kahta erillistä tuoterakennetta: suunnittelurakenne EBOM:ia (engl. Engineering Bill Of Materials) ja tuotannon tuoterakennetta MBOM:ia (engl. Manufacturing Bill Of Materials). Molemmat tuoterakenteet esittävät samat nimikkeet, mutta jaottelu rakenteiden välillä on erilainen. EBOM-rakenne on luotu suunnittelun ja tuotekehityksen näkökulmasta. MBOM-rakenne puolestaan vastaa tuotannon ja ostotoimintojen vaatimuksia. EBOM on tuotteen yleinen suunnittelurakenne. Se ei ota kantaa missä tuote valmistetaan. MBOM on tuotantopaikkakohtainen, jolloin se on luotu vastaamaan yksittäisen tuotantopaikan vaatimuksia. Tuotetta voidaan valmistaa yhden suunnittelurakenteen perusteella useassa tuotantopaikassa, jolloin samaan EBOM:iin voi liittyä useampia tuotantopaikkakohtaisia MBOM-rakenteita. (Lee et al. 2010)

Kuvassa 8 on esitetty EBOM:n ja MBOM:n rakenteellisia eroavaisuuksia. Tuote 1 sisältää samat nimikkeet molemmissa tuoterakenteissa (Nimikkeet A, B, C, D ja E). Nimikkeet on jaettu EBOM:ssa ja MBOM:ssa eri kokoonpanoihin. EBOM:ssa nimikkeet on jaettu kokoonpanoihin toimintoperusteisesti, toisin kuin MBOM:ssa, jossa nimikkeiden kokoonpanojako tehdään asennusperusteisesti.



Kuva 8. Rakenteiden eroavaisuudet EBOM:n ja MBOM:n välillä
(mukaillen Voskuil 2008)

Tuoterakenteiden eroavaisuudet selittyvät käyttäjien eri tarpeista. EBOM:ssa nimikkeet A ja B on haluttu sijoittaa kokoonpanon 2 alarakenteelle, koska komponentit liittyvät toiminnallisesti toisiinsa. MBOM:ssa nimikkeet jaetaan asennusvaiheittain kokoonpanoihin. (Voskuil 2008)

4.6 Yrityksen tuotetiedonhallintajärjestelmä

Yrityksessä on globaalisti käytössä Teamcenter PLM-järjestelmä, jota käytetään tuotetiedon hallintaan. PLM tarkoittaa tuotteen elinkaaren hallintaa (eng. Product lifecycle management). Kirjallisuudessa tuotetiedonhallintajärjestelmistä, sisälsivät ne elinkaaren hallintaa tai eivät, käytetään nimeä PDM-järjestelmä (eng. Product data management). (Sääksvuori & Immonen 2002) Tässä työssä Teamcenter PLM-ohjelmistosta käytetään nimeä PDM-järjestelmä.

PDM-järjestelmän ominaisuuksia ovat: Nimikkeiden, tuoterakenteiden ja dokumenttien hallinta ja ylläpito. PDM-järjestelmällä toteutetaan muutostenhallintaa, jolloin tuotteiden viimeisin tieto päivittyy järjestelmään (Sääksvuori & Immonen 2002). PDM-

järjestelmällä on mahdollista luoda rinnakkaisia tuoterakenteita käyttämällä Multi-structure manager -moduulia. PDM-järjestelmän PSE-sovelluksella (eng. Product structure editor) voidaan luoda ja hallita konfiguroitavia tuoterakenteita. Sovellus sisältää myös konfiguraattorin, jolla hallitaan konfigurointisäännöistä rakentuvaa konfiguraatiomallia. (Kaitaranta 2011)

PDM-järjestelmään on integroitu myös muita ohjelmistoja. Mekaniikka-, hydraulikka- ja sähkösuunnitteluohjelmistot on integroitu PDM-järjestelmän kanssa. Tavoitteena on, että suunnittelutieto löytyisi keskitetysti PDM-järjestelmästä. Hydraulikomponentin nimike perustetaan PDM-järjestelmään, josta komponentin tiedot haetaan kaavionpiirto-ohjelmaan. Näin ollen nimikkeitä ylläpidetään ensisijaisesti PDM-järjestelmässä. Peltonen et al. (2002) kutsuu pääjärjestelmää *master-järjestelmäksi*. Master-järjestelmässä tietoa hallitaan ja siirretään muihin järjestelmiin.

4.7 Geneerinen tuoterakenne

DD422i poralaitteen tuoterakennetta on kehitetty aiempia tuotteita modulaarisemmaksi ja helpommin konfiguroitavaksi. DD422i poralaite on yrityksen ensimmäinen uuden sukupolven poralaite, joka konfiguroidaan PDM-järjestelmän tuotekonfiguraattorilla. Poralaitteelle on tehty erilliset, rinnakkaiset tuoterakenteet, jotka palvelevat eri käyttäjäryhmiä paremmin.

Geneerinen tuoterakenne sisältää kaikki tuotemalliin sisältyvät moduulit ja komponentit, joiden avulla laitevariantin tuoterakenne on mahdollista rakentaa. Geneeristä tuoterakennetta kutsutaan yrityksessä *master-rakenteeksi*. DD422i poralaitteelle on käytössä kaksi eri geneeristä tuoterakennetta: Suunnittelijoiden käyttämä master EBOM ja tuotannon ylläpitämä master MBOM. On hieman harhaanjohtavaa että molempia tuoterakenteita kutsutaan *master-rakenteiksi*. EBOM on kuitenkin tuoterakenteiden *master-rakenne*. Tuotetta hallitaan master EBOM:ssa, jonka mukaan MBOM:n rakennetta muokataan. Master MBOM on geneerinen tuoterakenne, jonka mukaan tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan.

Suunnittelu ja tuotekehitys ylläpitävät master EBOM:ia. EBOM on hierarkkinen eli monitasoinen tuoterakenne, joka on jaettu toiminnallisuuksien mukaan moduuleihin. Rakenne palvelee hyvin laitesuunnittelua, koska kokoonpanot ovat helposti löydettävissä tuoterakenteesta toiminnallisuuden mukaan jaotelluista moduuleista. Poralaitteen rakenteen muutokset tehdään aina ensi EBOM:iin. MBOM:n päivitys toteutetaan EBOM:n muutosten perusteella. Näin ollen MBOM on EBOM:n mukaan luotu ja ylläpidetty tuoterakenne.

Tuoterakenteet on luotu palvelemaan erilaisia käyttäjäryhmiä. MBOM:n rakenne on tehty tuotannon tarpeita ajatellen. MBOM rakenne on jaoteltu pääasiassa kokoonpanojen fyysisen sijainnin mukaan. Myös varaosa- ja huolto-osastot käyttävät tuotannon tuoterakennetta suunnittelun tuoterakenteen ohella. (Niemistö 2011)

Tuotanto ylläpitää master MBOM rakennetta. Tuoterakenne on luotu juuri sen tehtaan tarpeiden mukaisesti, missä poralaitteen kokoonpano suoritetaan. Mikäli saman geneerisen EBOM:n mukaan laitteita kokoonpantaisiin useassa eri tehtaassa, MBOM voidaan sovittaa kullekin tehtaalle sopivaksi. Toisin sanoen yhden geneerisen EBOM:n mukaan voidaan luoda useita MBOM-rakenteita tuotantopaikan tarpeitten mukaan.

4.8 Tuotekonfiguraattori

Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan PDM-ohjelmiston konfiguraattorilla. Konfiguraattorilla hallitaan konfigurointimallia, joka koostuu useista säännöistä (engl. conditions). Konfiguraattorissa vastataan optiokysymyksiin, jonka arvon mukaan tuoterakenteesta suodatetaan pois tuotteeseen kuulumattomat moduulit tai komponentit. Kaikki mahdolliset variaatiot eivät kuitenkaan ole yhteensopivia. Konfiguraatiomalliin voidaan sisällyttää virheilmoituksia, jos yhteensopimattomia optioita yritetään valita konfiguraattorissa. Optiokysymysten vastausvaihtoehdot eivät rajaudu valittujen optioiden mukaan, joten ilman virheilmoituksia virheellisiä tuotevariaatioita olisi mahdollista tehdä. (Rintala 2009)

Konfiguraatiomallilla ohjataan geneerisen tuoterakenteen nimikkeitä, jotka varioituvat myyntitilauksen mukaan. Vain varioituville nimikkeille on luotu sääntöjä konfigurointimalliin. Lopulliseen tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen kuuluu myös nimikkeitä, jotka kuuluvat aina tuoterakenteeseen (Niemistö 2011). Optiokysymys on tyypiltään joku seuraavista vaihtoehdoista:

1. String: Option arvo on tekstiä
2. Logical: Option arvo on tosi/epätosi (True/False)
3. Integer: Option arvo on kokonaisluku
4. Real: Option arvo on reaaliluku

(Rintala 2009, s.53)

Näistä optiotyypeistä on käytössä *String* ja *Logical*. *Integer*-optiotyypillä olisi mahdollista vaikuttaa nimikkeiden lukumäärään tuoterakenteessa. Tälle optiotyypille ei ole tarvetta poralaitteen tuoterakenteessa. *Real*-optiotyyppiä voidaan käyttää attribuuttikonfigurointiin. Sillä olisi mahdollista vaikuttaa komponenttien attribuutteihin, esimerkiksi puomin pituuteen. Myöskään tämä optiotyyppi ei ole käytössä yrityksen konfiguraattorissa, koska tuoterakenteen nimikkeet ovat yksiselitteisiä kokoonpanoja tai komponentteja. Attribuuttikonfigurointi ei ole käytössä yrityksen suunnitteluosastolla.

Poralaitteen option ollessa selkeästi *add on* -lisälaite, optiokysymys on *Logical*-tyyppinen. Silloin konfiguraattorimallissa määritetään kuuluuko kyseinen optio tuoterakenteeseen vai ei. Optiokysymyksen arvo on *True* tai *False*. Varioituvalle moduulille käytetään *String*-tyypistä optiokysymyksen arvoa. Silloin kysymyksen arvo koostuu merkkijonosta. Valittavien arvojen lukumäärää ei ole rajoitettu, jolloin variantteja voi olla useita. Poralaitteen optio voi olla varioituva. Option voisi toteuttaa usealla *logical*-tyypin kysymyksellä, mutta varioituva optio sisällytetään selkeyden vuoksi yhteen *string*-tyypin kysymykseen. Arvovaihtoehtoihin on lisätty *No* vaihtoehto, jos optio ei sisälly tuoterakenteeseen. Hyvin yleinen optio voidaan asettaa oletusarvoksi (*default*), jolloin oletusarvo on valmiiksi valittuna tilausrakennetta konfiguroitaessa. Oletusarvo muutetaan tarvittaessa, mikäli muu optio kuuluu myyntitilaukseen. Varioituvan option *No*-arvo asetetaan usein oletusarvoksi. (Rintala 2009)

Konfigurointimallin säännöt on luotu geneerisen EBOM-rakenteen nimikkeille. Säännöissä käytetään optiokysymyksille annettuja arvoja määrittämään nimikkeen näkymää tuoterakenteessa. Konfiguraattorissa tehdyt valinnat tallennetaan SOS-nimiseen objektiin (engl. Stored Option Set). SOS:sta nähdään, mikä arvo on valittu kullekin optiokysymykselle. Optioiden arvot, jotka on asetettu optiokysymyksen oletusarvoiksi, eivät tallennu SOS:iin.

Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan geneerisestä EBOM-rakenteesta. Mikä tahansa tuotevalikoimaan sisältyvä laitevariantti on mahdollista muodostaa geneerisestä rakenteesta suodattamalla tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen kuulumattomat moduulit ja komponentit pois. Tilauskohtainen tuoterakenne on MBOM-tuoterakenteen mukainen. Konfiguraatioprosessissa siis konfiguraatio muodostetaan geneerisestä EBOM:sta, mutta tilauskohtainen tuoterakenne on tuotannon tarpeita vastaavan MBOM:n mukainen.

5 GLOBAALI SUUNNITTELUOHJELMA

Sandvik Mining ja Sandvik Construction on halunnut ottaa käyttöön yhteisen sähkö- ja hydraulikkasuunnitteluohjelman globaalilla tasolla. Uudella suunnitteluohjelmalla halutaan yhtenäistää eri tehtaiden suunnitteluosastojen toimintatapoja ja hydraulikaavioiden ulkoasua. Yhteisellä suunnitteluohjelmalla ja toimintatavalla hydraulikaaviot täyttävät samat vaatimukset tehtaiden välillä ja ovat ulkoasultaan samankaltaisia.

Uudella kaavionpiirto-ohjelmalla voidaan tuottaa konfiguroitavia kaavioita. Luvussa esitetään, miten hydraulikaavio muodostetaan konfiguroituvaksi ja miten kaavion komponenttien näkymää ohjataan kaaviokonfiguraattorilla.

5.1 Suunnitteluohjelman valintaprosessi

Ohjelmaa valittaessa valintaprosessiin osallistui suunnittelijoita eri tehtailta. Valintavaiheessa ohjelmalta vaadittavia ominaisuuksia olivat (hydrauliikka):

- Integroitavuus tuotetiedonhallintaohjelmiston kanssa (Teamcenter)
- Sähkö- ja hydraulikaavioiden linkittäminen toisiinsa
- Aktiivisen toimintakaavion luominen järjestelmäkaavioiden pohjalta
- Mahdollisuus konfiguroida kaavioita

(Viitaniemi 2015)

Yritys oli jo aiemmin ottanut käyttöön globaalin tuotetiedonhallintaohjelmiston: Teamcenterin. Integroituvuus PDM-järjestelmän kanssa oli tärkeä vaatimus valittaessa uutta kaavionpiirto-ohjelmaa. Toinen vaatimus oli sähkö- ja hydraulikaavioiden linkitettävyyks. Osa hydraulikkakomponenteista sisältää myös sähkökomponentteja, jolloin komponentti sisältää sähkö- hydraulikkakytkentöjä. Esimerkiksi suuntaventtiilin kelan symboli näytetään hydraulikaavioissa osana venttiiliin symbolia, mutta kelan sähkösymboli ja kytkennät esitetään sähkökaavioissa. Kaavioiden välille halutaan muodostaa linkki, kun kaaviot esitetään samassa PDF-tiedostossa. Komponentin linkin avulla voidaan liikkua hydraul- ja sähkökaaviolehtien välillä, joissa komponentin kytkennät esitetään.

Yrityksessä on ollut tapana esittää laitteen hydraulijärjestelmä sekä yhdellä sivulla esitetyssä toimintakaavioissa, että tarkemmin järjestelmiä kuvaavissa järjestelmäkaavioissa. Molemmat esitystavat ovat tarpeellisia, mutta ongelmaksi koituu kaksinkertainen dokumentaatio. Kaaviomuutokset joudutaan tekemään erikseen molempiin kaavioihin.

Kolmas vaatimus helpottaisi suunnittelun kaksinkertaisen dokumentoinnin ongelmaa. Jos toimintakaavio voitaisiin rakentaa järjestelmäkaavioista, tehdyt muutokset periytyisivät automaattisesti myös toimintakaavioihin. Viimeinen vaatimus koskee mahdollisuutta konfiguroida hydraulikaavio poralaitteen tuoterakenteen mukaisesti.

Valintaprosessin alussa koottiin vaatimuslista, joka lähetettiin kaavionpiirto-ohjelmien toimittajille. Vaatimusten perusteella joukosta karsiutui muutama ohjelmisto. Vaatimukset täyttäviä ohjelmia testaamalla uudeksi kaavionpiirto-ohjelmaksi valittiin E3.

5.2 E3 ohjelmiston esittely

E3 on CAE-ohjelmisto (Computer-Aided Engineering), jota voidaan käyttää seuraavien alojen suunnitteluun

- Sähkösuunnittelu
- Hydrauliiikka- ja pneumatiikkasuunnittelu
- Elektroniikka
- Kaapelointi

(CIM Consult Solution Oy 2011)

E3 tuoteperhe on jaettu moduuleihin ohjelman käyttökohteen mukaan. Sandvik käyttää sähkösuunnittelussa E3 cable -moduulia ja hydrauliikkasuunnittelussa käytössä on E3 fluid. E3 on objektikeskeinen ohjelma. Ohjelmalla hallitaan objekteja ja niiden ominaisuuksia. (CIM Consult Solution Oy, 2011) E3:ssa objekteja ovat:

- Projekti (project)
- Lehti (sheet)
- Symboli (symbol)
- Komponentti (component)
- Laite (device)
- Grafiikka (graphics)
- Teksti (text)
- Kytkeä (connection)

(CIM Consult Solution Oy 2011)

Projekti on kokonaisuus, joka sisältää lehtiä ja mahdollisesti muita dokumentteja. Projekti tallennetaan yhteen tiedostoon. Kohdeyrityksessä projekti sisältää yhden poralaitteen kaaviot. Ristiviittaukset toimivat vain yhden projektin sisällä, joten projekti toimii rajapintana kaavioiden linkittämiselle. Hydraulikaavio piirretään projektiin *lehdille*. Hydraulikaavion piirtämisessä käytetään muita objekteja. Lehtiä hallitaan projektin sisällä puurakenteella, jossa lehtiä voidaan ryhmitellä eri tasoille ja eri kansioihin. Yleisesti yhden järjestelmäkaavion lehdet sisällytetään yhden kansion sisään. (CIM Consult Solution Oy 2011)

Symboli on graafinen piirrosmerkki, joka sisältää kytkentäpisteitä, ominaistekstejä ja attribuuteja. Attribuutti on objektin sisältämä lisätieto. Symbolin yhteydessä näytettävä attribuuttiteksti sijoitetaan symbolin läheisyyteen. Symbolin attribuutille annettu arvo ilmestyy attribuuttitekstin paikalle. Symboli voi olla osa *komponenttia* tai se voi esiintyä hydraulikaavioissa sellaisenaan. Komponentti koostuu yhdestä tai useammasta symbolista, joka kuvaa tiettyä hydraulikomponenttia. (CIM Consult Solution Oy 2011)

Komponenttia luodessa hydraulikomponentin tiedot tuodaan PDM-järjestelmästä E3 tietokantaan. Komponenttiin sidotaan ennalta luotu symboli, jonka attribuutit määritetään yksilöllisesti komponentille. Suuri osa komponentin attribuuteista siirtyy komponentille Teamcenteristä, mutta komponenttikohtaiset symbolin tekstiattribuutit syötetään käsin komponentille. Tällaisia ovat esimerkiksi porttimerkinnät ja paineensäätöarvot. Sama symboli voi siis olla käytössä useassa eri komponentissa, mutta komponentin sisällä symbolin ominaisuuksia on muutettu komponenttikohtaisiksi. Kuten luvussa 5.1 kerrottiin, hydraulikomponentti voi sisältää myös sähkökaavioissa esitettävän sähkökomponentin. Komponenttiin lisätään sekä hydraulisymboli, että sähkösymboli, jotka sijoitetaan eri kaavioihin. Kyseessä on tällöin sama komponentti, jonka hydraulinen symboli esitetään hydraulikaavioissa ja sähköinen symboli esitetään sähkökaavioissa. Käytettäessä samaa komponenttia, komponentin kautta voidaan siirtyä kaavioiden välillä tarkastelemaan komponentin kytkentöjä hydraulii- ja sähkökaavioissa

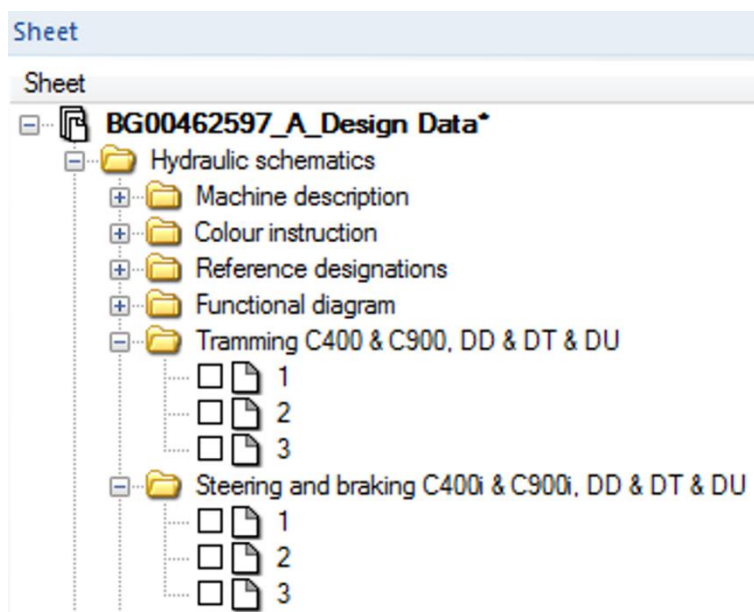
Laite on komponentin yksilöllinen ilmentymä projektissa. Projektissa voi olla useita samoja komponentteja, mutta jokaisella niistä on oma yksilöllinen laitetunnus. Laitetunnus koostuu kolmesta osasta: komponentin sijainnista, järjestelmänumerosta ja komponentin tyypistä. Projektissa olevat laitteet ilmestyvät myös projektin alle laitepuuhun, josta niiden ominaisuuksia voidaan muokata. Laitteet yhdistetään keskenään *kytkennöillä*. Kytkennot eroavat normaalista *graafiikasta*. Kytkennot sisältävät tietoa laitteista, joiden välille ne on kytketty. Lehdelle voi myös lisätä tekstiä tekstilaatikoilla selventämään kaavion grafiikkaa. (CIM Consult Solution Oy 2011)

5.3 Hydraulijärjestelmän esittäminen kaaviossa

Eri tietojärjestelmien välillä käytetään samoja termejä kuvaamaan eri asioita. Yrityksessä käytettävä termistö eroaa kaavionpiirto-ohjelmiston ja PDM-järjestelmän termeistä. Jotta sekaannuksilta vältyttäisiin, kutsutaan hydraulikaavioissa esitettäviä hydraulikomponentteja komponenteiksi, joilla on komponenttitunnus (vrt. laite). Näin E3-ohjelmiston laite ja poralaite -termit eivät sekoitu keskenään.

Hydraulikaavioita hallitaan kaavionpiirto-ohjelman projektissa. Projekti tallennetaan PDM-järjestelmän nimikkeelle. Nimike sisältää E3-työtiedoston, sekä projektin sisältämät dokumentit sisältävän PDF-tiedoston. Järjestelmäkaavioita hallittaessa kaavioprojekti ladataan kaavionpiirto-ohjelmistoon Teamcenteristä järjestelmien välisellä integraatiolla.

Kuvassa 9 on esitetty projektin kaaviorakenne. Rakenteen päätasolla on projekti, joka on nimetty PDM-järjestelmän nimikkeen koodin, nimen ja revision mukaan. Projektissa hydraulikaavion lehdet on sijoitettu Hydraulic schematics -kansion alarakenteelle. Hydraulikaavio on jaettu järjestelmäkaavioiden perusteella kansioihin. Yksi kansio sisältää yhden järjestelmäkaavion lehdet. Järjestelmäkaavio koostuu yhdestä tai useammasta lehdestä.



Kuva 9. Järjestelmäkaaviot projektin kaaviorakenteessa

Järjestelmäkaaviolle luodaan nimike PDM-järjestelmään ohjelmistointegraatiolla. Nimikkeeseen tallennetaan järjestelmän hydraulikaavio PDF-tiedostona. Kaavioita muokataan projektin työtiedostossa. Järjestelmäkaavion nimike ei sisällä työtiedostoa, vaan pelkän kaaviodokumentin. PDM-järjestelmä on kaaviopiirto-ohjelmiston master-järjestelmä. Projekteja ja järjestelmäkaavioita säilytetään PDM-järjestelmän nimikkeissä. Myös komponenttien attribuutit ladataan PDM-järjestelmästä komponentin nimikkeen tiedoista.

Järjestelmäkaavion lehdellä esitetään hydraulijärjestelmän komponentit ja niiden kytkennot. Komponentti varustetaan yksilöllisellä komponenttitunnuksella. Komponenttitunnus koostuu kolmiosaisesta tunnuksesta: komponentin sijainnista, järjestelmästä ja järjestysnumerosta. Sijainti kertoo missä komponentti sijaitsee fyysisesti poralaitteessa, järjestelmänumero kertoo mihin järjestelmään kyseinen komponentti kuuluu ja järjestysnumero ilmaisee komponentin tyypin ja yksilöllisen järjestysnumeron. Komponenttitunnus on yksi komponentin attribuuteista. Muita attribuutteja ovat esimerkiksi säätö- ja painearvot, porttimerkinnät, komponentin toiminta, ID-koodi, osanumero ja komponentin koko. Lähes kaikkea komponentin esittämää informaatiota hallitaan attribuuteilla. Myös kaaviolehden otsikkokentän arvot ovat lehden attribuutteja.

Kytken­nän painetaso mää­rää hydrau­li­lin­jan vä­rin. Vä­rei­llä on tar­koitus pa­ran­taa kaavioiden luettavuutta. Ne selkeyttävät kytkentöjen risteämistä kaavioissa ja ilmoittavat karkeasti kytken­nän painetason. Korkeapainelinja piirretään kaavioon punaisella ja tankkilinja sinisellä. Hydrau­li­sen to­mi­lai­teen ja suun­ta­venttiilien vä­li­set painelinjat, joiden painetasot muuttuvat hydrau­li­venttiilin asennon mukaan, vä­ri­te­taan vih­reällä ja ruskealla. Pilottipainelinjat piirretään katkoviivalla, mutta vä­ri­ty­s vaihtelee linjan paineen mukaan. Hydrau­li­letkut esitetään kytken­nöis­sä letkukomponenteilla. Letkukomponentin symboli kertoo letkun halkaisijan ja osanumeron. Kaavioissa käytetään myös tekstikenttiä ja grafiikkaa selventämään järjestelmän osia ja rajapintoja. Esimerkiksi hydrau­li­letkujen läpivientilevyt esitetään graafisilla viivoilla hydrau­li­kaavioissa.

Hydrau­li­kaaviot piirretään ISO-1219 standardin mukaisesti. Erityisesti on kiinnitetty huomiota hydrau­li­symbolien standardinmukaiseen esitykseen. ISO-1219-2 standardissa mainitaan myös komponenttitunnusten käyttäminen piirrosmerkkien yhteydessä, jotta komponentin yksilöinti ja tunnistaminen olisi helpompaa. Standardi ei varsinaisesti vel­voita käyttämään vä­re­jä kaavioiden kytken­nöis­sä.

Poralaitteen hydrau­li­kaavioprojektiin sisällytetään kaavioiden lisäksi myös muita dokumentteja. Projektin ensimmäinen sivu on kansilehti, johon merkitään laitteen tilauskohtaiset tiedot. Projektista löytyvät komponenttitunnusjärjestelmän ja kytkentöjen vä­ri­koodien ohjetaulukot. Projektin loppuun voidaan lisätä komponenttilista, joka sisältää jokaisen kaaviosta löytyvän komponentin ja letkun tiedot. Komponenttien sisältämä tieto on ladattu PDM-järjestelmästä komponenttia luotaessa. Informaatio on tallennettu komponentin attribuutteihin.

5.4 Konfiguroituva hydrau­li­kaavio

E3 kaavionpiirto-ohjelmalla on mahdollista tehdä konfiguroitavia hydrau­li­kaavioita. Hydrau­li­kaavion konfiguroiminen tarkoittaa kaavion objektien näkymien hallitsemista. Kun objekti asetetaan kaaviossa optioksi, se voidaan tarvittaessa piilottaa kaaviosta. Kaavion objekteja on myös mahdollista asettaa varianteiksi, jolloin voidaan valita, mikä variantti tapauskohtaisesti näytetään hydrau­li­kaavioissa. Lisäksi hydrau­li­kaavion lehti voidaan asettaa optioksi. Hydrau­li­kaavioiden optiot ja variantit merkitään optioteksteillä, jotta ne erotetaan hydrau­li­kaavioiden vakiokomponenteista.

Konfiguroituva hydrau­li­kaavio piirretään ensin geneeriseksi eli yleiseksi hydrau­li­kaavioiksi. Geneerisessä hydrau­li­kaaviossa näytetään kaikki poralaitteen tuotevalikoiman komponentit ja niiden kytken­nät. Optiokomponenttien aiheuttamat kytkentävariantit on piirrettävä rinnakkain, koska molemmat kytken­nät tulee näyttää geneerisessä hydrau­li­kaaviossa. Geneerinen hydrau­li­kaavio on piirrettävä siten, että minkä tahansa poralaittevariantin letkujen kytkeminen on mahdollista geneerisen kaavion perusteella. Geneerinen hydrau­li­kaavio aiheuttaa haasteen varianttikomponenttien esittämiselle. Jos varioituvan hydrau­li­komponentin symboli on varianttien kesken samanlainen, voidaan yksi

varianteista esittää geneerisessä kaavioissa. Mikäli varioituvat komponentit tai järjestelmät eroavat merkittävästi toisistaan, geneerisessä kaavioissa variantit näytetään rinnakkain tai erillisillä optiolehdillä.

Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan geneerisen hydraulikaavion pohjalta. Tilauskohtaiseen hydraulikaavioon valitaan tilauskohtaisen tuoterakenteen sisältävät komponentit ja niiden kytkennät. Tilaukseen kuulumattomat komponentit ja kytkennät piilotetaan hydraulikaaviosta. Myös optiotekstit piilotetaan tilauskohtaisesta hydraulikaaviosta. Hydraulijärjestelmän ollessa tilauskohtaisesti dokumentoitu, optiokomponentteja ei tarvitse erottaa vakiokomponenteista.

Hydraulikaavion objektien näkymää hallitaan kaaviokonfiguraattorilla. Optioita ja variantteja aktivoimalla vaikutetaan objektien näkymään ja ominaisuuksiin. Kaaviokonfiguraattorilla siis ohjataan konfiguraatiomallia, joka koostuu kaavion objekteille asetuista optiosäännöistä.

Hydraulikaavio tarjoaa myös muuta informaatiota hydraulijärjestelmän esittämisen lisäksi. Hydraulikaavioihin merkitään esimerkiksi painearvot ja hydraulisyntierien mitat. Myös nämä arvot saattavat muuttua järjestelmän varioituessa. Konfigurointisääntöjä on mahdollista asettaa objektien tekstiattribuuteille. Kaaviokonfiguraattorilla voidaan siten ohjata komponenttien tekstiattribuuttien arvoa.

Konfiguroituun tilaukseen kuulumattomat komponentit piilotetaan projektin komponenttilistasta. Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan manuaalisesti kaavionpiirto-ohjelmistossa. Konfiguraattorissa tehdyt valinnat on mahdollista tallettaa XML-tiedostoksi. Lataamalla XML-tiedosto myöhemmin konfiguraattoriin, aiemmin tehty kaaviokonfiguraatio pystytään palauttamaan.

5.5 Optioiden ja varianttien esittäminen kaavioissa

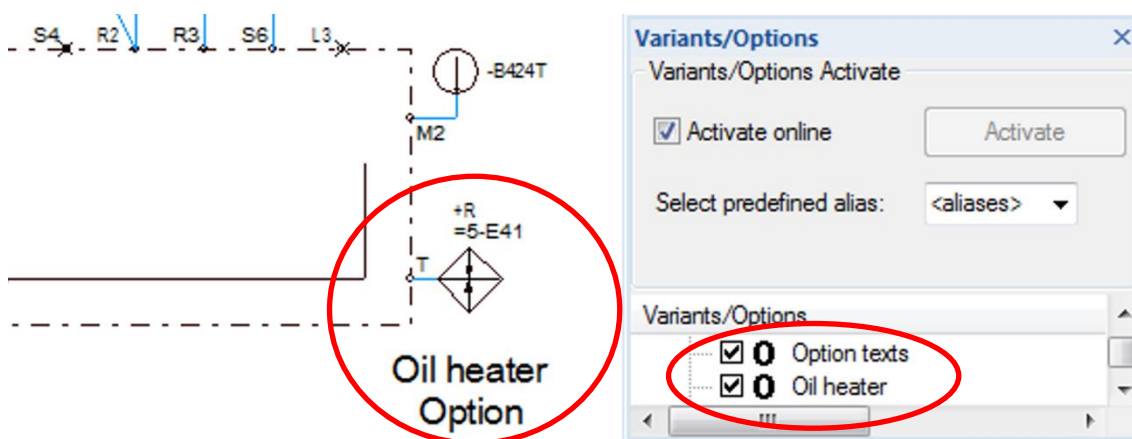
Projektin objekteille asetetaan optiosääntöjä, joiden perusteella objektin näkymää kaavioissa hallitaan kaaviokonfiguraattorilla. Optio- ja varianttikomponentteja voidaan esittää monella tavalla hydraulikaavioissa. DD422i:n konfiguroituissa hydraulikaavioissa käytetään seuraavia tapoja optio- ja varianttikomponenttien esittämiseksi:

- Optiokomponentti
- Varianttikomponentti
- Optiolehti
- Komponentin attribuutin konfiguroiminen
- Optiokomponentin varioituva letkutus

Konfiguroituva kaavio piirretään ensin geneeriseksi hydraulikaavioksi, jossa esitetään kaikki poralaitteeseen kuuluvat hydraulikomponentit. Kun geneerinen kaavio on piirretty valmiiksi, kaavion konfigurointimalli muodostetaan konfigurointisääntöjen avulla.

5.5.1 Optiokomponentti

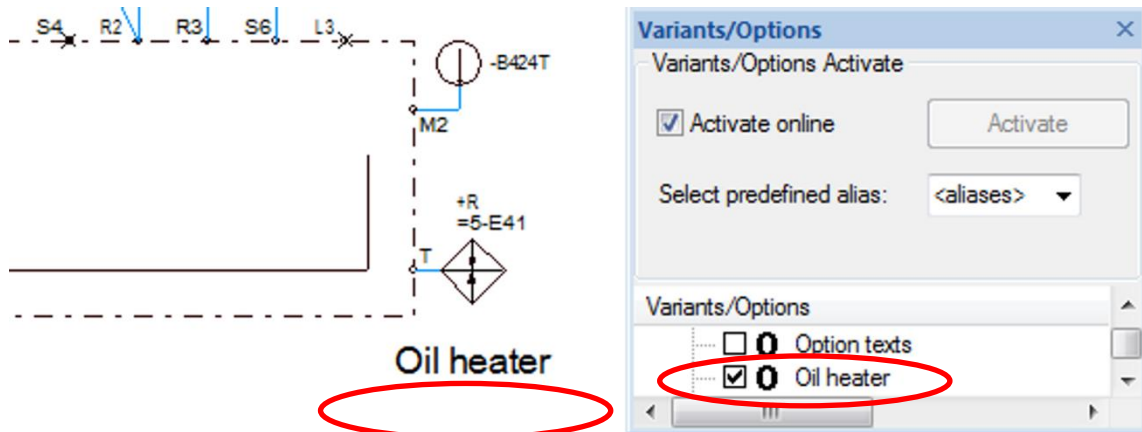
Yksinkertaisimmillaan hydraulijärjestelmän yksittäinen komponentti ja sen kytkentä muodostavat option. Tällöin optiokomponentin näkymää ohjataan yhdellä optiosäännöllä. Kuvassa 10 nähdään osa geneerisestä hydraulikaaviosta, jossa hydraulioöljysäiliöön on kytketty hydraulioöljynlämmitin. Kuvassa 10 on esitetty myös kaaviokonfiguraattori, jolla hallitaan *Option texts* ja *Oil heater* -optioita.



Kuva 10. Optiokomponentin esittäminen geneerisessä hydraulikaaviossa

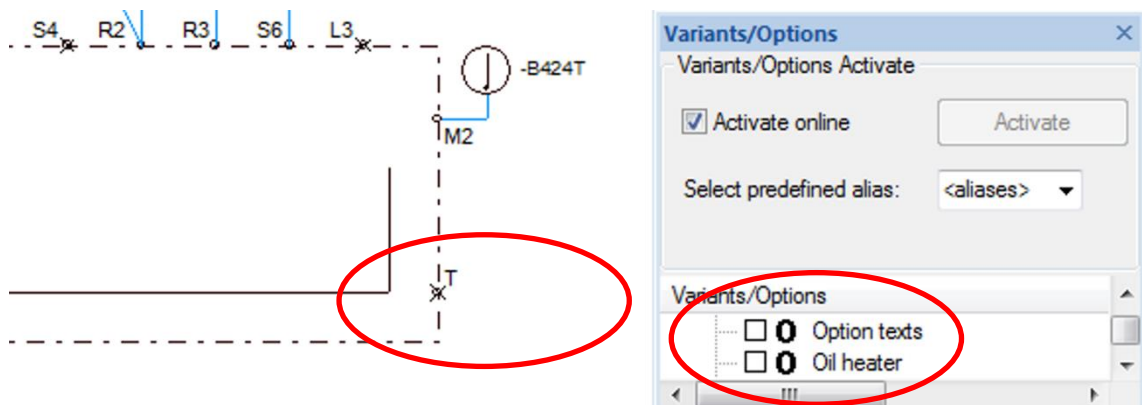
Geneerisessä kaaviossa halutaan näyttää kaikki poralaitteen komponentit. Geneerisessä kaaviossa optiokomponentit erotetaan vakiokomponenteista optiotekstillä. Kaaviokonfiguraattorissa optiot *Option texts* ja *Oil heater* ovat aktivoituja geneerisessä hydraulikaaviossa.

Tilaukkohtaisessa kaaviossa *Option texts* -optiota ei aktivoida, jolloin optiotekstejä ei näytetä kaaviossa. Tilaukkohtaisessa kaaviossa ei haluta erottaa optiokomponentteja ja vakiokomponentteja toisistaan, koska kaavio kuvaa poralaiteyksilön hydraulijärjestelmää. Kuvassa 11 näytetään optiokomponentti tilaukkohtaisessa kaaviossa. Kaaviokonfiguraattorissa aktivoidaan vain *Oil heater* -optio.



Kuva 11. Optiokomponentin esittäminen tilaukkohtaisessa hydraulikaaviossa

Kuvassa 12 esitetään hydraulikaavio, kun optiokomponentti ei kuulu tilaukkohtaiseen tuoterakenteeseen. Tässä tapauksessa *Oil heater* -optiota ei aktivoida kaaviokonfiguraattorissa. *Oil heater* -optio ohjaa optiokomponentin näkyvyyttä, mutta optioon on lisätty myös käänteinen sääntö. Kun *Oil heater* -optiota ei ole aktivoitu, hydraulisäiliön portti tulpataan. Tämä ominaisuus monimutkaistaa hydraulikaavion konfigurointimallia, koska optiokomponentin piilottamisen yhteydessä kaavioon on lisättävä toinen komponentti.



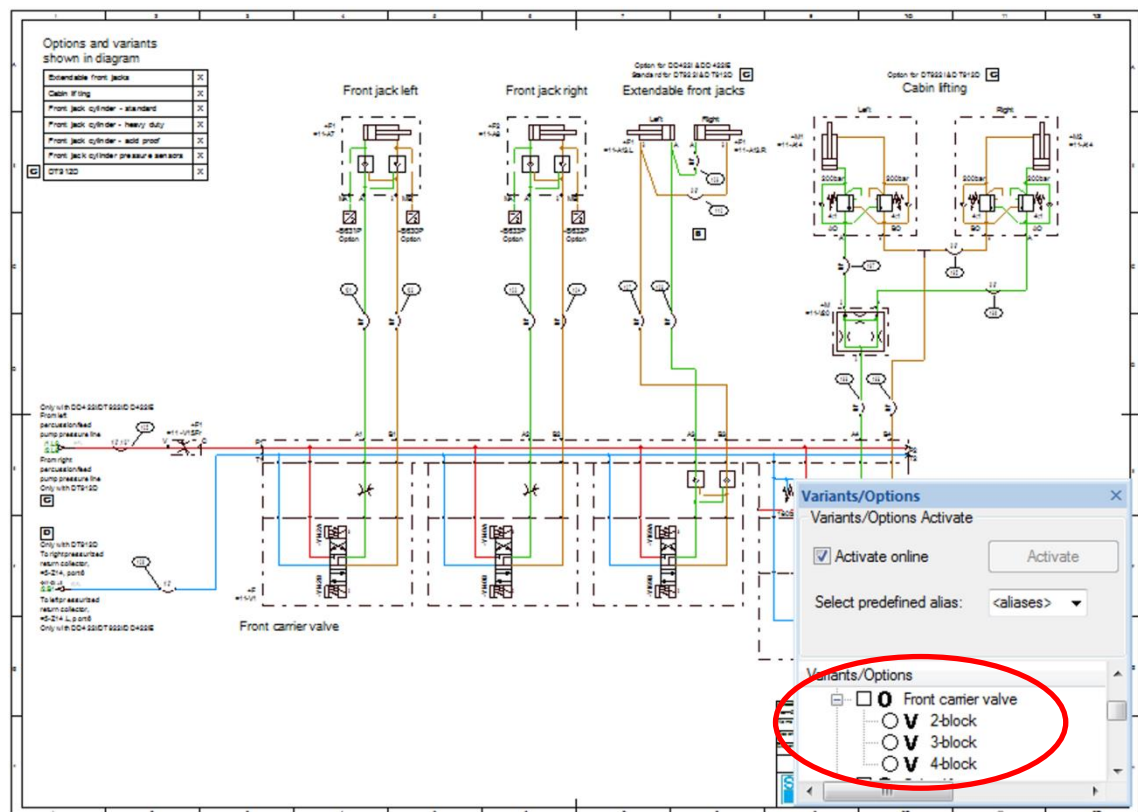
Kuva 12. Optiokomponentin piilottaminen tilaukkohtaisessa hydraulikaaviossa

Esimerkissä nähdään, miten kaaviokonfiguraattorilla ohjataan kaavio-option näkymää. Optiokomponentin pois jääminen vaikuttaa myös kaavioihin lisätyn tulpan osalta.

5.5.2 Varianttikomponentti

Varianttikomponentti koostuu kahdesta tai useammasta komponentista, jotka varioituvat hydraulikaaviossa. Poralaiteyksilöön kuuluva varianttikomponentti valitaan kaaviokonfiguraattoriin tehdyllä variantilla. Geneerisessä kaaviossa on kuitenkin mahdollista esittää vain yksi varioituvista komponenteista. Yksi varianttikomponentti asetetaan oletuskomponentiksi, joka esitetään geneerisessä hydraulikaaviossa, kun varianttia ei ole aktivoitu kaaviokonfiguraattorissa. Oletuskomponentti valitaan tapauskohtaisesti. Geneerisestä kaaviosta täytyy tulla ilmi myös muut varianttikomponentit.

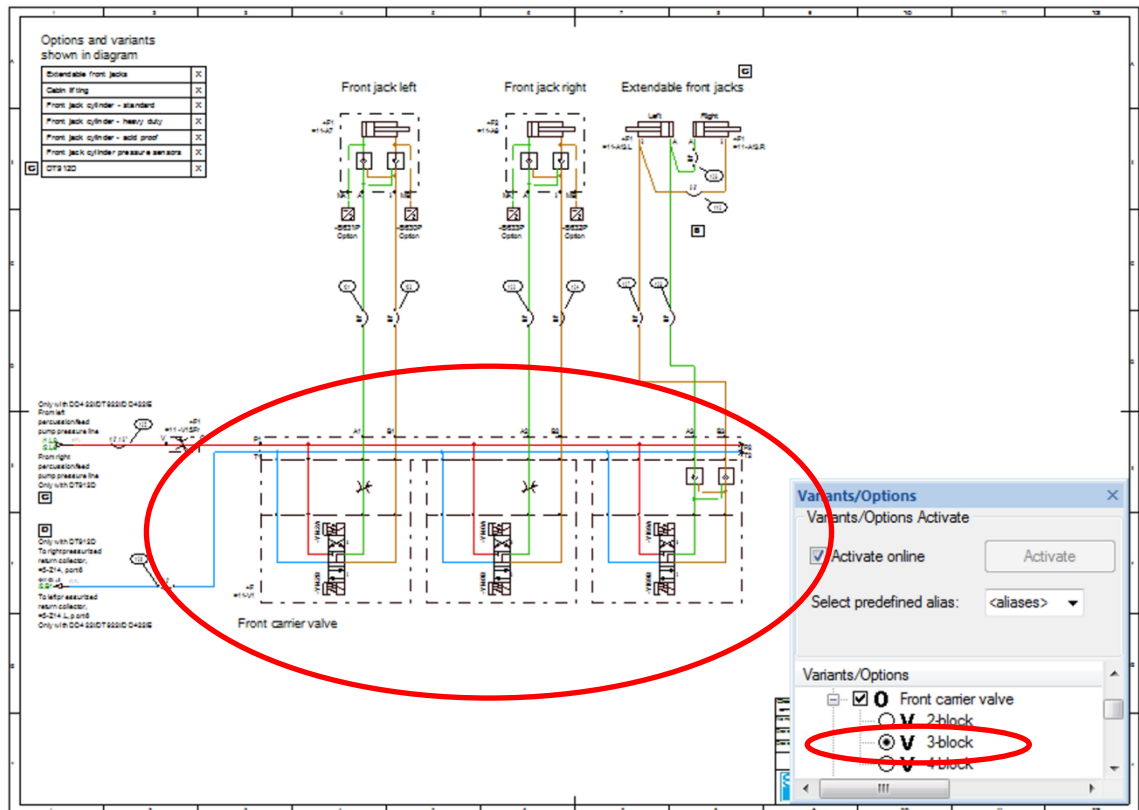
Kuvassa 13 on esitetty hydraulisten toimilaitteoptioiden määrän mukaan varioituva suuntaventtiilipaketti geneerisessä hydraulikaaviossa. Kaaviokonfiguraattorissa yhtäkään varianttivaihtoehtoa ei ole aktivoitu, joten näkyvillä on oletuskomponentti.



Kuva 13. Varianttikomponentin esittäminen geneerisessä hydraulikaaviossa

Toimilaitteiden määrän mukaan varioituvassa venttiilipaketissa voi olla 2, 3 tai 4 suuntaventtiiliä. Geneerisessä kaavioissa näytetään molemmat optioina tarjottavat hydrauliset toimilaitteet vakio-toimilaitteiden lisäksi, joten oletuskomponentiksi valitaan 4:llä suuntaventtiilillä varustettu venttiilipaketti. Oletuskomponenttina toimiva suuntaventtiili näytetään geneerisessä kaaviossa, vaikka yhtäkään varianttia ei ole aktivoitu kaaviokonfiguraattorissa.

Tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa varianttikomponentti valitaan tilauskohtaisen tuoterakenteen mukaan. Kuvassa 14 on esitetty tilauskohtaisen hydraulikaavion lehti, johon on valittu varianttikomponentti, joka sisältää 3 suuntaventtiiliä. Kuvassa 14 on esitetty kaaviokonfiguraattori, jossa on aktivoitu poralaitteeseen tuleva varianttikomponentti. Ohjaamon hydraulinen nosto -optio ei kuulu tässä tapauksessa tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen, joten se piilotetaan tilauskohtaisesta hydraulikaaviosta.



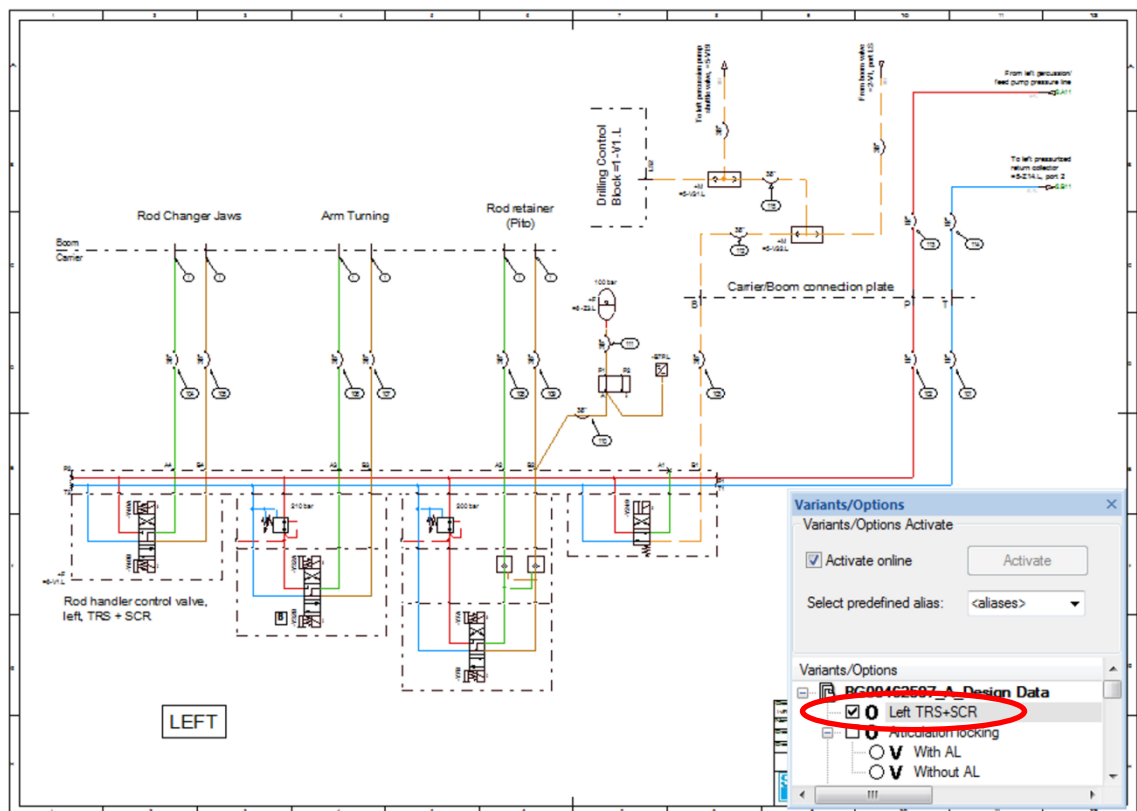
Kuva 14. Varianttikomponentin esittäminen tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa

Kuvan 14 tilauskohtaisesta hydraulikaaviosta on piilotettu optiotekstit samalla tavalla kuin luvussa 5.5.1.

5.5.3 Optiokaavio

Poralaitteen optiona tarjottava järjestelmä voidaan esittää optiokaaviolla. Optiokaavio esitetään kaavionpiirto-ohjelmassa omalla lehdellään. Optiokaavio esitetään aina geneerisessä hydraulikaaviossa. Tilauskohtaiseen hydraulikaavioon optiolehti lisätään, mikäli sen esittämä optiojärjestelmä on valittu poralaitteeseen.

Kuvassa 15 on esitetty optiojärjestelmän hydraulikaavio ja kaaviokonfiguraattori. Optiokaavion lehti on asetettu kaaviokonfiguraattorissa optioksi. Optiolehden näkymää hallitaan kaaviokonfiguraattorin *Left TRS+SCR* -optiolla. Kuvassa 15 lehteä ohjaava optio on aktivoitu kaaviokonfiguraattorissa.



Kuva 15. Järjestelmäoption esittäminen optiokaaviossa

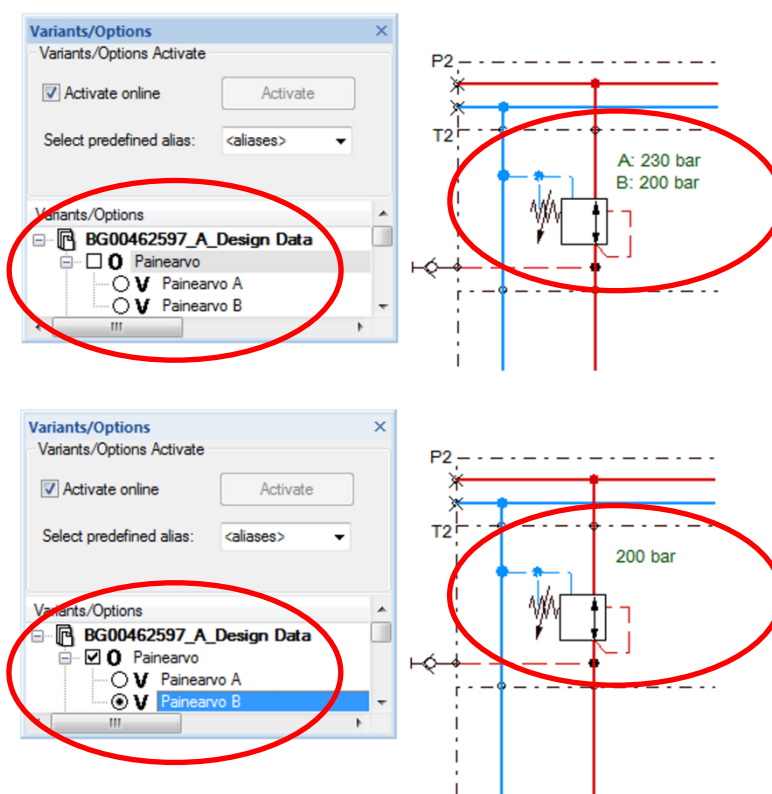
Mikäli kaaviokonfiguraattorin *Left TRS+SCR* -optiota ei aktivoida, lehteä ei näytetä tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa. Optio vaikuttaa lehden lisäksi myös kaikkiin sen sisältämiin objekteihin. Näin ollen kaaviossa esitetyt komponentit ja letkut häviävät kaavioprojektista sekä komponenttiosaluettelosta, jos lehti ei sisälly tilauskohtaiseen hydraulikaavioon.

Optiokaavioilla on myös mahdollista esittää optiojärjestelmiä, jotka ovat toistensa variantteja. Silloin vain yksi järjestelmä esitetään kerrallaan tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa. Geneerisessä hydraulikaaviossa näytetään kaikki varioituvat optiojärjestelmät, mutta tilauskohtaiseen kaavioon valitaan vain yhden järjestelmän esittävä optiolehti. Varioituva optio voi jäädä myös pois tilauskohtaisesta hydraulikaaviosta.

5.5.4 Attribuuttikonfigurointi

Hydraulikaavioissa esitetään hydraulijärjestelmän komponenttien ja kytkentöjen lisäksi myös muuta tietoa hydraulijärjestelmästä. Hydraulikaavioissa esitetään esimerkiksi komponenttien paineensäätöarvot. Hydraulisten toimilaitteiden vaatimat painetasot voivat muuttua valitun toiminnon mukaisesti. Kaaviokonfiguraattorilla ohjataan myös komponenttien attribuuttien arvoja.

Kaaviokonfiguraattorilla ohjataan komponentin varioituvaa attribuuttia. Kuvassa 16 on esitetty kaaviokonfiguraattori ja paineenalennusventtiili, jonka paineensäätöarvo valitaan hydraulisen toimilaitteen mukaan. Kuvan 16 esimerkissä kaaviokonfiguraattoriin on luotu variantti *painearvo*, jonka avulla voidaan valita paineenalennusventtiilin tekstiattribuutille oikea paineensäätöarvo. Geneerisessä hydraulikaaviossa kumpaakaan varianttia ei valita, jolloin komponentin tekstiattribuutin oletusarvo on näkyvissä. Geneerisessä hydraulikaaviossa näytetään molemmat mahdolliset paineensäätöarvot. Tilauskohitteeseen hydraulikaavioon valitaan vain toinen paineensäätöarvoista poralaitteeseen valitun hydraulisen toimilaitteen mukaan. Tilauskohtaiseen hydraulikaavioon valitaan kaaviokonfiguraattorilla se variantti, joka näyttää kaaviossa halutun paineensäätöarvon.



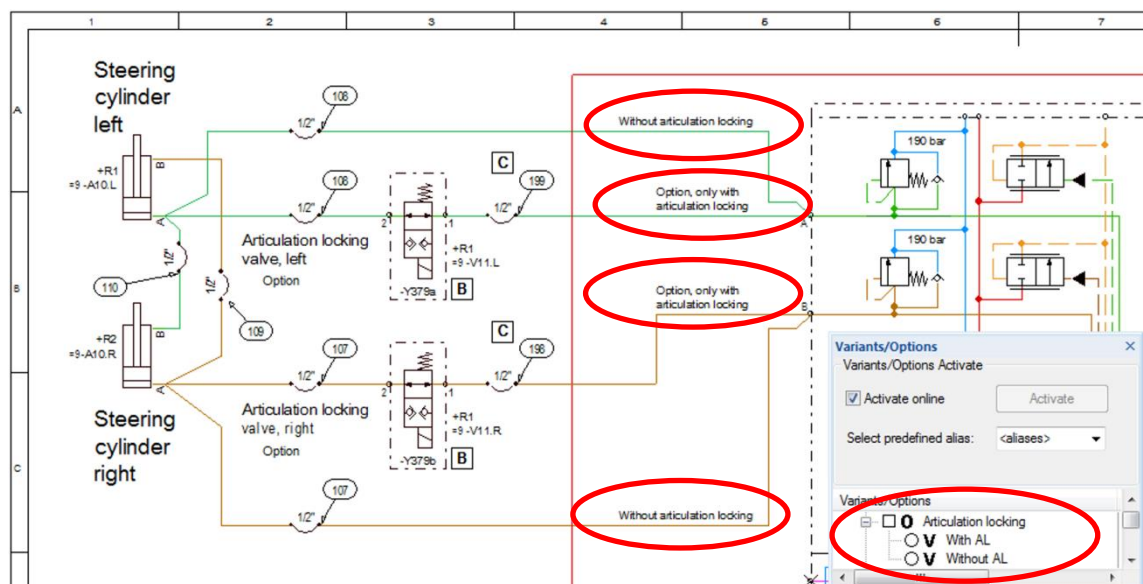
Kuva 16. Komponentin attribuutin konfiguroiminen

Objektin attribuuttia konfiguroidaan aina varianttiarvoilla, koska attribuutilla voi olla kerrallaan vain yksi arvo. Komponentin attribuutin konfiguroiminen on kätevä ominaisuus, kun komponenttia ei tarvitse asettaa varianttikomponentiksi. Lisäksi konfigurointisäännöllä voidaan määrittää suoraan haluttu arvo attribuutille.

5.5.5 Optiokomponentin varioituva letkutus

Optiokomponentti voi esiintyä hydraulikaavioissa kahden komponentin välissä. Silloin optionkomponentin lisääminen kaavioon aiheuttaa varioituvan kytkennän. Optiokomponentin kuuluminen tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen voi vaikuttaa letkujen määrään ja ominaisuuksiin. Geneeriseen kaavioon tulee piirtää rinnakkaiset kytkennät molemmille tapauksille. Tilauskohtaisessa kaaviossa valitaan, kumpi kytkentävariantti näytetään tapauskohtaisesti.

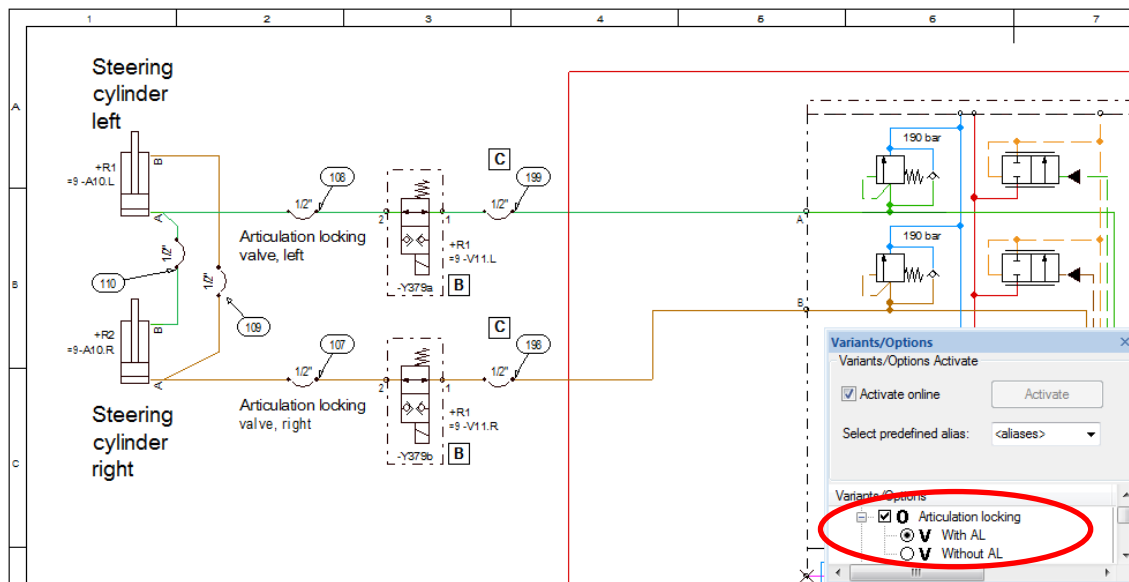
Poralaitteeseen on saatavana optioina ohjaussylinterien lukitusventtiilit, jotka sijoitetaan sylinterien ja ohjausventtiilin väliin. Kuvassa 17 on esitetty kaaviokonfiguraattori ja hydraulisylinterien rinnakkaiset kytkennät geneerisessä hydraulikaaviossa. Geneerisen hydraulikaavion varioituviin kytkentöihin on kirjoitettu optioteksteillä missä tapauksessa kyseinen kytkentä on käytössä. Geneeristä hydraulikaaviota esittäessä, kaaviokonfiguraattorissa ei aktivoida kumpaakaan varianttia, jolloin hydraulikaaviossa näytetään optiokomponentit ja molemmat rinnakkaiset kytkennät.



Kuva 17. Rinnakkaiset kytkentävariantit geneerisessä hydraulikaaviossa

Kuvasta 17 nähdään, miten optiokomponentin kuuluminen poralaitteeseen vaikuttaa poralaitteen letkuihin. Jos optiokomponentti kuuluu poralaitteeseen, ylimääräinen letku sisältyy poralaitteen tuoterakenteeseen.

Tilauskohtaiseen hydraulikaavioon valitaan kytkentävariantti optiokomponentin perusteella. Kuvassa 18 tilauskohtaiseen hydraulikaavioon valitaan optiokomponentti ja sen letkut. Optiokomponentti ja kytkentä valitaan tilauskohtaiseen hydraulikaavioon kaaviokonfiguraattorin *With AL* -variantilla.



Kuva 18. Optiokomponentin kytkentävariantti tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa

Geneerisessä kaaviossa kytkentöihin merkitään optioteksteillä, mikä kytkentävariantti tulee laitteeseen optiokomponentin kanssa ja mikä ilman. Ilman optiotekstejä kaavion tulkitseminen on haasteellista ja kytkentä voitaisiin ymmärtää väärin. Tilauskohtainen esitys on yksiselitteinen ja selkeä, kun kaaviossa ei esitetä ylimääräisiä kytkentöjä.

5.6 Kaaviokonfiguroinnin haasteita

Option tai variantin muodostaminen kaavioon ei ole aina yksiselitteistä. Luvun 5.5.5 esimerkissä nähdään miten optiokomponentti aiheuttaa kytkentävariantin hydraulikaavioissa. Hydraulikaavioiden konfigurointisääntöjen muodostaminen ja varsinkin niiden ylläpitäminen on haastavaa. On vaikeaa hahmottaa, mihin kaikkiin komponentteihin, kytkentöihin ja muihin objekteihin kyseessä oleva konfigurointisääntö vaikuttaa. Optioiden ja varianttien hallittavuutta helpottaa, jos optiosäännöt muodostetaan lokaalisti. Tämä tarkoittaa, että yksittäinen konfigurointisääntö vaikuttaa vain yhdellä lehdellä oleviin objekteihin. Konfigurointimallia muutettaessa kaavioihin jää helposti virheitä, jos konfigurointisäännöt vaikuttavat usean eri lehden objekteihin kaavioprojektin sisällä. Lisäksi käänteisillä konfigurointisäännöillä hallittavia objekteja on hankalaa jäljittää hydraulikaavioista, koska ne ovat näkyvillä vain kun optio tai variantti ei ole aktiivinen. Mitä kohdistetummin konfigurointisäännöt muodostetaan optio- tai varianttikomponenteille ja niiden kytkennöille, sitä helpommin niitä voidaan päivittää jatkossa.

Konfiguraattoreiden konfiguraatiomallien dokumentoiminen on hankalaa, eikä kaaviokonfiguraattori tee asiassa poikkeusta. Paras tapa konfigurointimallin hallintaan on pitää konfigurointisäännöt yksinkertaisina. Kuitenkin kaavioita konfiguroitaessa optioiden ja varianttien nimet tulisivat mukailla tuotekonfiguraattorissa olevia nimiä, jotta tilauskohtainen hydraulikaavio olisi tehokkaasti konfiguroitavissa tuotekonfiguraattorin optiolistan arvojen mukaan. Kaavion konfiguroimiseen tarvitaan paljon tietoa poralaitteiden optioista ja varianteista. Virheellisten kaaviokonfiguraatioiden mahdollisuus lisääntyy, mikäli optionimet eroavat merkittävästi SOS:n optionimistä.

6 HYDRAULIKAAVIOIDEN HALLINTA

Yrityksessä poralaitteen hydraulijärjestelmä esitetään geneerisillä järjestelmäkaavioilla. Hydrauliletkut kytketään geneeristen järjestelmäkaavioiden avulla poralaitteen kokoonpanon aikana. Letkusetit sijaitsevat poralaitteen geneerisessä EBOM:ssa. Järjestelmäkaaviot liitetään letkusettien referenssidokumenteiksi, jolloin järjestelmäkaaviot löytyvät EBOM:sta.

Poralaitteiden hydraulikaavioiden käyttäjät ovat vaatineet tuoteyksilökohtaisia hydraulikaavioita toimitettaviksi poralaitteen mukana. Luvussa 6 selvitetään, voidaanko geneerisistä hydraulikaavioista luopua, jos tilauskohtainen kaavio toimitetaan poralaitteen mukana.

6.1 Hydraulikaavioiden rakenne

Yksittäisen poralaitteen hydraulikaavioita hallitaan poralaittekohtaisessa master-projektissa. Master-projekti on kaavionpiirto-ohjelman työtiedosto, joka sisältää kaikki poralaitteen hydraulikaaviot jaettuina toiminnon mukaan järjestelmäkaavioihin. Tuotannossa järjestelmäkaavio toimii letkutusdokumenttina. Hydrauliletkujen osanumerot esitetään poralaitteen järjestelmäkaavioissa. Järjestelmäkaavioissa näytetään komponenttien ja letkukytkentöjen lisäksi myös muuta tietoa hydraulijärjestelmästä, kuten esimerkiksi hydraulikomponenttien säätöarvoja.

Järjestelmäkaavio talletetaan PDF-dokumenttina PDM-järjestelmään järjestelmäkaaviokohtaiselle nimikkeelle. Lisäksi projektille luodaan PDM-järjestelmään nimike, jossa on master-projektin työtiedoston lisäksi myös kaikki projektin järjestelmäkaaviot sisältävä PDF-tiedosto. Kaaviot siis esiintyvät PDM-järjestelmässä kahdessa eri muodossa: järjestelmäkaaviodokumentteina ja koko laitteen järjestelmäkaaviot sisältävänä kaaviodokumenttina. Järjestelmäkaaviot esiintyvät PDM-järjestelmässä geneerisinä hydraulikaavioina. PDM on yrityksen master-järjestelmä, joten kaikki suunnittelutieto halutaan säilyttää samassa paikassa. Siksi myös hydraulikaaviot ja niiden työtiedostot tallennetaan PDM-järjestelmään.

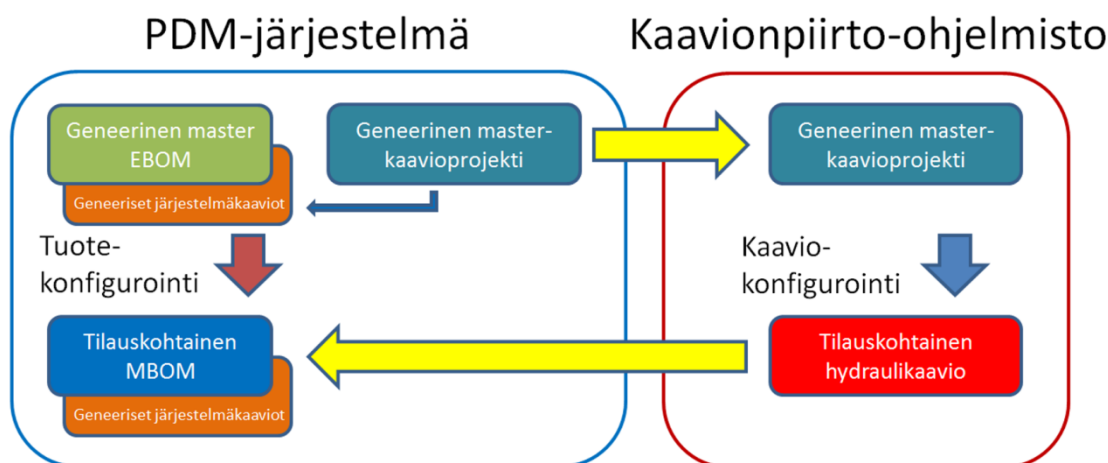
6.2 Konfigurointiprosessit

Hydraulikaavioiden käyttäjät ovat vaatineet tilauskohtaisia hydraulikaavioita toimitettavaksi poralaitteen mukana. Uudella kaavionpiirto-ohjelmalla on mahdollista tehdä konfiguroitavia hydraulikaavioita, joten DD422i-poralaitteen hydraulikaaviot tuotettiin kon-

figuroituviksi. Tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa esitetään tuoteyksilökohtainen hydraulijärjestelmä ilman poralaitteeseen kuulumattomia komponentteja.

Poralaitteen tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan geneerisestä suunnittelurakenteesta eli EBOM:sta. Geneerinen EBOM sisältää kaikki poralaitteen esisuunnitellut moduulit ja osakokoonpanot, joista muodostetaan tuotteen tilauskohtainen tuoterakenne. Tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen valitaan myyntitilauksen perusteella ne moduulit, jotka toteuttavat asiakkaan valitsemat ominaisuudet.

Hydraulikaavion konfiguroiminen ja tuoterakenteen konfiguroiminen ovat erillisiä prosesseja, jotka suoritetaan eri ohjelmistojen konfiguraattoreilla. Kuvassa 19 on esitetty kaavio- ja tuotekonfigurointiprosessit. Geneerinen master-kaavioprojekti sisältää geneerisen hydraulikaavion. Master-projekti ladataan PDM-järjestelmästä kaavionpiirto-ohjelmistoon, jossa se konfiguroidaan tilauskohtaiseksi hydraulikaavioksi. Geneerinen suunnittelurakenne eli EBOM konfiguroidaan PDM-järjestelmässä tilauskohtaiseksi tuotannon tuoterakenteeksi eli MBOM:ksi. Tilauskohtainen tuoterakenne esitetään aina MBOM:ina. Lopuksi tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään tilauskohtaisen MBOM:in rakenteelle.



Kuva 19. Konfigurointiprosessit

Geneerinen master-kaavioprojekti ei kuulu geneeriseen tuoterakenteeseen, vaan master-projektia säilytetään PDM-järjestelmässä erillisenä nimikkeenä. Hydraulikaaviot esiintyvät EBOM tuoterakenteessa geneerisinä järjestelmäkaavioina, jotka ovat letkusetien referenssidokumentteja. Tilauskohtainen MBOM sisältää poralaitteeseen valitut letkusetit ja näin ollen myös geneeriset hydraulikaaviot. Lisäksi tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään MBOM:n rakenteen päätasolle hydraulikaaviodokumentiksi.

6.3 Hydraulikaavio letkutusdokumenttina

Hydrauliletkut sijaitsevat poralaitteen geneerisessä tuoterakenteessa letkusetteinä. Letkusetin referenssidokumenttina on järjestelmäkaavio, jonka avulla letkusetin letkut voidaan kytkeä poralaitteen kokoonpanovaiheessa. Letkusetit sijaitsevat poralaitteen geneerisen EBOM:n tuoterakenteessa. Letkusetit on jaettu tuoterakenteen varioituvien moduulien alarakenteille, jolloin jokainen varioituva osajärjestelmä sisältää tarvitsemansa letkusetin. Poralaitteen hydraulijärjestelmän letkut on siis jaettu useisiin letkusetteihin laitteen geneeriseen EBOM:n alikokoonpanojen rakenteille.

Poralaitteen tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen kuuluvat ne letkusetit, jotka sijaitsevat tuoterakenteeseen valittujen moduulien alarakenteilla tai jotka on muuten valittu tilauskohtaiselle tuoterakenteelle konfigurointiprosessissa. EBOM sisältää kymmeniä letkusettejä, joista osa kuuluu jokaisen poralaitteen tuoterakenteeseen.

Geneerisistä hydraulikaavioista voitaisiin luopua, jos tilauskohtainen hydraulikaavio voitaisiin liittää letkusettien referenssidokumentiksi, jolloin letkusetin kytkennät tehtäisiin tilauskohtaisen hydraulikaavion avulla poralaitteen kokoonpanossa. EBOM on geneerinen tuoterakenne, joten myös sen sisältävät moduulit ovat geneerisiä. Koska poralaitteen tuoterakenne koostetaan geneerisistä moduuleista, tuoteyksilön tilauskohtaista konfiguraatiota ei voida tietää geneeristä moduulia suunniteltaessa. Näin ollen myös geneerisen tuoterakenteen letkusetit ovat geneerisiä. Tilauskohtaisen hydraulikaavion käyttäminen letkusetin referenssidokumenttina ei ole mahdollista, koska letkusetti on esisuunniteltu osarakenne. Konfiguroituva, geneerinen EBOM koostuu esisuunnitelluista kokoonpanoista, jolloin sen tilauskohtainen muokkaaminen ei ole mahdollista. Letkutusdokumentteina toimivien järjestelmäkaavioiden täytyy olla geneerisiä eli yleiskäyttöisiä, jolloin niiden avulla voidaan käsitellä minkä tahansa poralaittevariantin letkutusporalaitteen kokoonpanon aikana.

6.4 Rinnakkaiset hydraulikaaviot

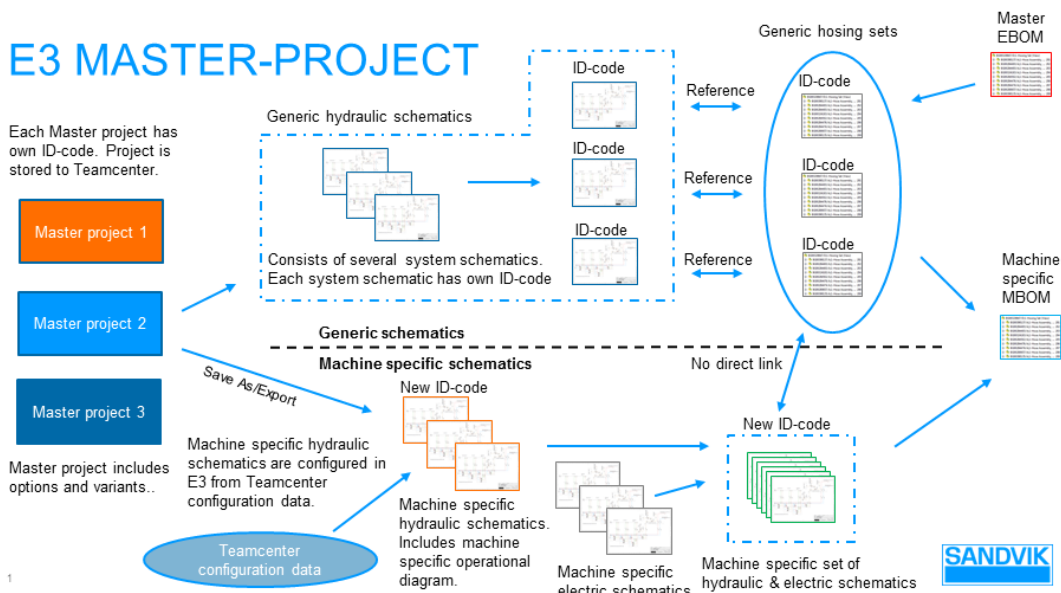
Geneeristen letkusettien vuoksi geneerisestä hydraulikaaviosta ei voida luopua. Poralaitteen letkujen kytkeminen tuotannossa hoidetaan pääasiassa geneerisillä kaavioilla. Tilauskohtainen hydraulikaavio voidaan kuitenkin tarjota lisädokumenttina tilauskohtaisessa tuoterakenteessa geneeristen hydraulikaavioiden lisäksi. Tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään poralaitteen tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen konfigurointiprosessin yhteydessä.

Master-projekti sisältää poralaitteen geneeriset kaaviot jaettuina järjestelmäkaavioihin. Projektin kaaviot on tehty konfiguroituviksi, mutta ne esitetään projektissa geneerisinä kaavioina. Kaavioita muutettaessa kaavion PDF-tiedosto siirretään PDM-järjestelmän nimikkeelle. Järjestelmäkaavio on aina geneerinen kaavio, joten kaavioita ei käytännös-

sä koskaan konfiguroida master-projektissa. Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan master-kaavioprojektin pohjalta tehdyssä uudessa projektissa.

Kuvassa 20 on esitetty hydraulikaavioiden jakautuminen geneerisiin ja tilauskohtaisiin kaavioihin. Kuvan 20 vasemmassa laidassa master-projekti on esitetty sinisenä laatikkona. Master-projektissa hallitaan geneerisiä järjestelmäkaavioita tai master-projekti kopioidaan uudeksi projektiksi, jossa konfiguroidaan tilauskohtainen hydraulikaavio. Katkoviivan yläpuolella esitetään geneeriset järjestelmäkaaviot, joilla kullakin on ID-koodi. Geneeriset letkusetit sijaitsevat master EBOM:ssa, josta poralaitteeseen valitaan tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen tarvittavat letkusetit. Geneeriset järjestelmäkaaviot ovat letkusettien referenssidokumentteja.

Kuvassa 20 katkoviivan alapuolella on esitetty tilauskohtaisen hydraulikaavion muodostaminen poralaitteen master-projektista. Tilauskohtainen hydraulikaavioprojekti kopioidaan poralaitteen master-projektista omaksi projektikseen, joka konfiguroidaan tuoterakenteen konfiguraatietietojen perusteella. Kuvassa 20 on esitetty miten hydraulikaaviot yhdistetään yhteiseksi kaaviokokoelmaksi ja liitetään poralaitteen tilauskohtaiselle tuoterakenteelle. Kuvasta 20 nähdään, että tilauskohtaista kaaviokokoelmaa ei voida lisätä geneeristen letkusettien referenssidokumentiksi, joten geneerinen ja tilauskohtainen hydraulikaavio tarjotaan poralaitteen tuoterakenteessa rinnakkaisina dokumentteina.



Kuva 20. Poralaitteen hydraulikaavioiden hallinta E3- ja Teamcenter-ympäristöissä

Tilauskohtainen hydraulikaavio esitetään kaaviodokumenttina, joka koostuu laitteen kaikista konfiguroiduista järjestelmäkaavioista. Tilauskohtainen hydraulikaavio esitetään kaavioprojektin PDF-tiedostona, jolloin se sisältää kaikki projektin sisältämät kaaviot yhdessä tiedostossa. Etuna projektin PDF:n käyttämisessä on, että dokumenttiin

voidaan sisällyttää järjestelmäkaavioiden ulkopuolista tietoa. Esimerkiksi kaavioon voidaan lisätä kansilehti, kaavion lukemista helpottavia ohjeita ja lista kaavioissa käytetyistä komponenteista ja letkuista. Uudelle projektille luodaan ID-koodi vain projektin päätasolle. Järjestelmäkaavioille ei luoda erikseen koodeja. Tilauskohtainen hydraulikaavio halutaan pitää erillisenä geneerisistä järjestelmäkaavioista, jottei geneeriset ja konfiguroidut kaaviot sekoitu keskenään. Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan kaavionpiirto-ohjelmassa kaaviokonfiguraattorilla. Konfiguroija valitsee kaavioon optiot tuotekonfiguraattorin optiovalintojen mukaisesti.

Tilauskohtaisia kaavioita tehdessä on suunniteltu että hydraulii- ja sähkökaaviot voitaisiin yhdistää samaan projektiin. Projektista voitaisiin tuottaa yksi PDF-tiedosto, joka sisältäisi poralaitteen kaikki kaaviot. Kokemuksen perusteella on huomattu että hydraulii- ja sähkökaavioiden hallitseminen samassa master-projektissa on liian työlästä. Tilauskohtaisten hydraulii- ja sähkökaavioiden yhdistäminen jälkikäteen olisi kuitenkin mahdollista, jolloin kaavioyhdistelmä voitaisiin lisätä laitteen tuoterakenteelle. Kaavioiden sijoittaminen samassa projektissa toisi etua kaavioiden luettavuudelle. Kaavioiden välille olisi mahdollista tehdä ristiviittauksia, jolloin esimerkiksi hydraulikaavion sähköistä komponenttia painamalla olisi mahdollista siirtyä kaaviolehdelle, jossa komponentti esitetään sähkökaaviossa. Samalla tavalla sähkökaavioista voitaisiin siirtyä hydraulikaavioihin komponentin linkin avulla.

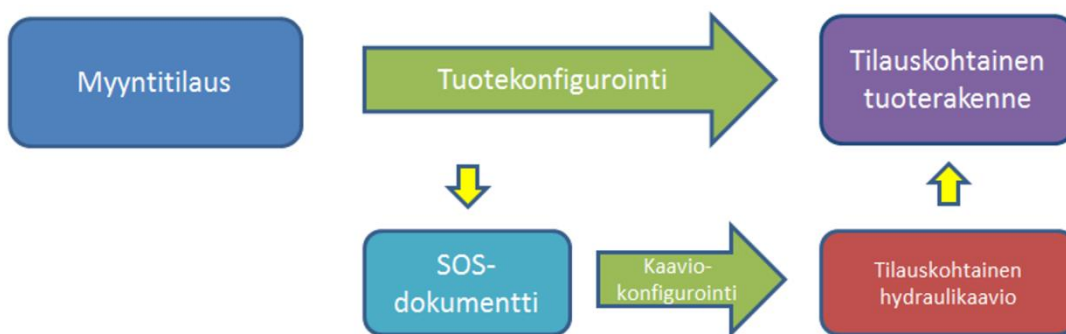
7 TILAUS-TOIMITUSPROSESSI

Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan myyntitilauksen perusteella PDM-järjestelmän tuotekonfiguraattorilla. Tilauskohtaisen tuoterakenteen konfigurointitiedon avulla hydraulikaavio konfiguroidaan kaavionpiirto-ohjelmassa ja lisätään poralaitteen tuoterakenteeseen. Luvussa käydään läpi myös miten muutos laitteen tilauksessa vaikuttaa tilaus-toimitus-prosessiin. Tilaus-toimitus-prosessi rajataan tilauskohtaisen tuoterakenteen muodostamiseen. Poralaitteen tuotantovaihe jää tarkastelun ulkopuolelle.

Tilaus-toimitusprosessissa käsiteltävä poralaite on uusi DD422i kaivosjumbo. DD422i:n hydraulikaaviot on piirretty kokonaisuudessaan käyttöönotetulla kaavionpiirto-ohjelmalla. Hydraulikaaviot on piirretty siten, että ne on mahdollista konfiguroida poralaitteen tuoterakenteen mukaisiksi.

7.1 Tilauskohtainen hydraulikaavio tilaus-toimitusprosessissa

Poralaitteen tilaus-toimitusprosessin tarkastelu rajataan tilauskohtaisen tuoterakenteen muodostamiseen. Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan myyntitilauksen perusteella. Tuoterakenteeseen lisätään kaaviokonfiguraattorilla kaavionpiirto-ohjelmistossa luotu tilauskohtainen hydraulikaavio. Prosessin kulku on esitetty kuvassa 21.



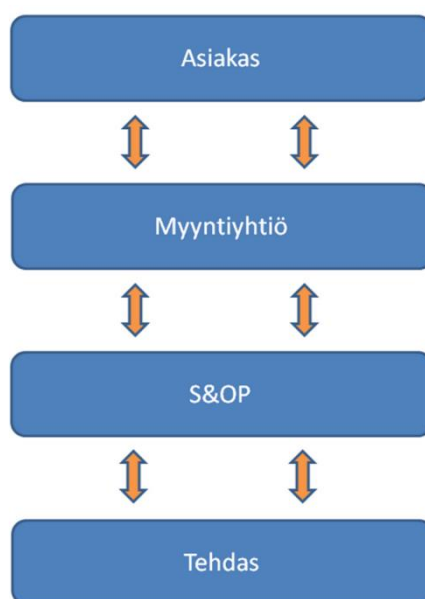
Kuva 21. Tilauskohtaisen tuoterakenteen luominen tilaus-toimitusprosessissa

Tuoterakenteen konfiguroiminen toteutetaan PDM-järjestelmässä ja hydraulikaavion konfiguroiminen toteutetaan kaavionpiirto-ohjelmistossa. Myyntitilaus sisältää tuotteen spesifikaation, jonka mukaan tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan tuotekonfiguraattorilla. Tuotekonfiguroinnin optiovalinnat tallentuvat SOS-dokumenttiin, jonka avulla tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan manuaalisesti kaaviokonfiguraattorilla kaavionpiirto-ohjelmassa. Lopuksi tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen.

On mahdollista, että laitteen spesifikaatio muuttuu tilaus-toimitusprosessin aikana. Muutos voi johtua asiakkaasta tai olla myös asiakkaasta riippumaton suunnittelu- tai tuotantoperusteinen tuoterakennemuutos.

7.2 FOD-prosessi

Poralaitteen myynnistä vastaavat yrityksen alueelliset myyntiyhtiöt. Myyntiyhtiöt ovat tiiviisti yhteydessä asiakkaisiin. Myyntiyhtiöt luovat myyntiennusteita tulevista laitetilauksista. Myyntiennusteilla pyritään varautumaan tuleviin laitetilauksiin, jotta asiakkaiden tarpeisiin voitaisiin vastata mahdollisimman nopealla aikataululla. Myyntiennusteen varmistamisesta myyntitilaukseksi vastaa yrityksen S&OP-osasto (engl. Sales & Operation Planning). S&OP määrittää lisäksi tilauksen kokoonpanopaikan. Tehdas toteuttaa myyntitilauksen materiaalihankinnat ja kokoonpanon, sekä laitteen toimituksen asiakkaalle. Ennustettavaa tilaus-toimitusprosessia kutsutaan yrityksessä FOD-prosessiksi (engl. Forecasted Order-Delivery). Kuvassa 22 esitetään FOD-prosessin sidosryhmät.



Kuva 22. FOD-prosessin sidosryhmät

Myyntiennusteista luodaan laitteen spesifikaation määrittäviä myyntitilauksia, joihin on merkitty kaupan todennäköisyys. Myyntiennusteissa muutokset laitteiden spesifikaatiossa ovat yleisiä. Poralaitteen kokoonpano aloitetaan myyntitilauksen varmistuessa. Myyntiennusteiden avulla tuotanto pystyy varautumaan tuleviin laitetilauksiin hankkimalla poralaitteen kokoonpanossa vaadittavat komponentit etukäteen. Luotettavilla myyntiennusteilla pystytään lyhentämään tuotteen toimitusaikaa. Ennusteiden avulla voidaan myös pienentää varastoitaviin komponentteihin sitoutunutta pääomaa.

7.3 Myyntitilaus

Myyntiyhtiössä myyjä tekee myyntitilauksen Sales Tools -nimisellä ohjelmalla. Myyntitilaus koostuu listasta, jonka riveille määritetään poralaitteen ominaisuudet ja optiot. Kullekin riville valitaan ennalta määrätty vaihtoehto laitteen ominaisuudesta tai optiosta. Tällä tavoin laitteen spesifikaatio voidaan määrittää täydellisesti, jolloin mikään ominaisuus ei jää avoimeksi. Myyntitilauksen esittämällä laitemääritelmällä voidaan konfiguroida poralaitteen tilauskohtainen tuoterakenne.

Myyntitilaus jakautuu Sales Toolsissa neljään osaan:

- Kohdetiedot
- Perustuote
- Optiot
- Lisälaitteet

Kohdetiedot osiossa määritetään poralaitteen toimintaympäristön vaikutukset laitteen varioituviin komponentteihin. Laitteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi: kaivoksen korkeus merenpinnan tasolta, toimintaympäristön lämpötila, sähköverkon jännite ja taajuus. Olosuhteet määräävät mitä varioituvia komponentteja laitteessa käytetään. Ympäristön ja huuhteluveden lämpötilat vaikuttavat esimerkiksi hydraulioöljyn jäähdytystapaan.

Poralaitteelle on määritelty perusrakenne, johon kuuluvat tietyt moduulit oletuksena. Perustuotteen standardimoduulit on listattu myyntitilaukseen. Perustuote on toisin sanoen poralaite minimioptioilla. Optiot-osuudessa listataan poralaitteeseen valitut optiot. Jotkut optiot voivat korvata poralaitteen perusrakenteen moduulin, jolloin optio on standardimoduulin variantti. Optiot-osuudessa valitaan myös poralaitteen automaatiotaso.

Lisälaitteet osiossa valitaan poralaitteen varustepaketit. Maakohtainen varustepaketti määräytyy kohdemaan tai -alueen mukaan. Maakohtainen varustepaketti sisältää maassa vallitsevien säädöksiä ja standardien vaatimat lisävarusteet. Varusteet liittyvät pääasiassa poralaitteen turvallisuuteen ja dokumentaatioon. Lisälaitteosiossa voidaan valita myös laitteen ominaisuuksiin vaikuttava paketti. Mikäli kaivoksessa käytettävä porareikä huuhteluvesi on hapanta, laitteeseen voidaan valita ruostumattomat komponentit. Osa maapaketteihin sisältyvistä ominaisuuksista löytyy myös optiopuolelta. Muutkin kuin kyseisen maapaketin tilaavat asiakkaat voivat haluta maapaketteihin sisältyviä optioita poralaitteeseensa. Myyjän on oltava tarkkana, ettei valitse maapakettiin kuuluvia optioita toiseen kertaan optiovalinnoissa.

Sales Tools ei ole varsinaisesti myyntikonfiguraattori, koska se ei ota kantaa mitkä optiot ovat keskenään yhteensopivia. Näin ollen myyjältä vaaditaan asiantuntemusta myyntitilausta tehtäessä, ettei myyntitilauksessa esiinny ristiriitoja. Ohjelma hinnoittelee tuotteen valmiiksi, valittujen ominaisuuksien mukaan.

7.4 Tuoterakenteen konfiguroiminen

Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan myyntitilauksen perusteella PDM-järjestelmän tuotekonfiguraattorilla. Poralaitteelle on luotu tuotemääritelmä (engl. product definition container), joka määrittää minkä tuotantopaikan mukaiseksi tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan. Tuotemääritelmä määrää tehtaan kokoonpanoa varten optimoidun MBOM-rakenteen, jonka mukaiseksi EBOM konfiguroidaan. Tuloksena PDM-ohjelma luo tilauspaketin (engl. order package), joka on tilausmääritelmä tyyppinen objekti (engl. product delivery container). Tilauskohtaisen tuoterakenteen konfigurointiprosessi on esitetty kuvassa 23.

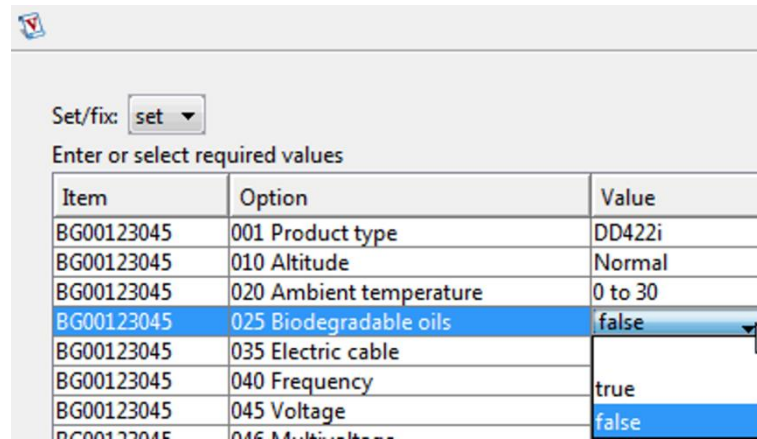


Kuva 23. Konfigurointiprosessi

Tilauspaketti sisältää kaiken oleellisen tiedon tilauksesta. Tilauspaketti nimetään tilauksen sarjanumeron mukaan. Tilauspaketti on tärkeä objekti tuotteen elinkaaren hallinnassa, koska ilman tilauspaketin sisältämää informaatiota tilauskohtaisen tuoterakenteen alkuperää olisi hankala selvittää. Tilauspaketista nähdään minkä tilausmääritelmän mukaan tilaus on konfiguroitu. Siitä löytyy myös tilauksen konfiguraatiotiedot. Tilauspaketti sisältää tuotteen suunnittelurakenteen eli Master EBOM:n *as designed* rakenteena. Konfiguroitu MBOM-rakenne on talletettu tilauspakettiin *as planned* rakenteena. Tilauspaketti sisältää yhden konfigurointikierroksen tiedot.

Rakennekäsittelijä luo tilauskohtaisen tuoterakenteen. Rakennekäsittelijä konfiguroi tuoterakenteen myyntitilauksessa esitetyn tuotespesifikaation mukaisesti. Konfiguraattorin valinnat on pyritty luomaan yhdenmukaiseksi Sales Toolsin ominaisuuksia määrittävän listan kanssa.

Rakennekäsittelijä valitsee optiokysymyksille arvot tuotekonfiguraattorissa. Kuvassa 24 on näytetty miten optiokysymyksen arvo määritetään tuotekonfiguraattorissa. Optiokysymyksessä *025 Biodegradable oils* määritetään valitaanko tilauksen poralaitteeseen biohajoavat öljyt. Poralaitteeseen valitaan biohajoavat öljyt, jos option arvoksi valitaan True.



Set/fix: ▼

Enter or select required values

Item	Option	Value
BG00123045	001 Product type	DD422i
BG00123045	010 Altitude	Normal
BG00123045	020 Ambient temperature	0 to 30
BG00123045	025 Biodegradable oils	false
BG00123045	035 Electric cable	
BG00123045	040 Frequency	true
BG00123045	045 Voltage	false

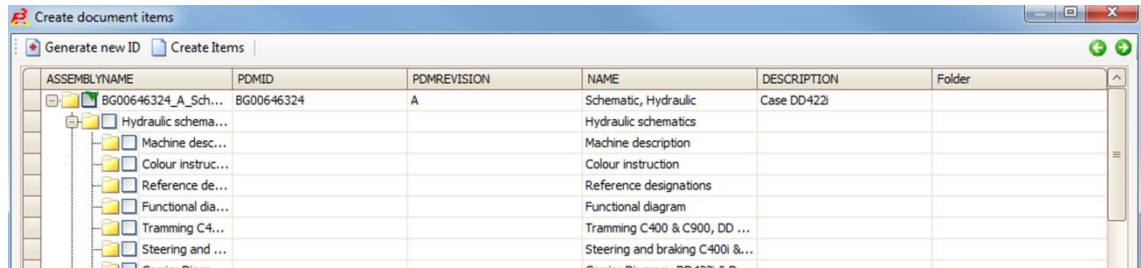
Kuva 24. Tuotekonfiguraattori

Lopullinen tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan PDM-järjestelmässä työkierron avulla. Työkierron referensseinä on konfiguroitu SOS sekä tuotteen määritelmä, joka määrittelee minkä MBOM-rakenteen mukaiseksi tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan. Työkiertoon lisätään myös konfiguroitu hydraulikaavio. Työkierto tuottaa tilauspaketin, joka sisältää tilauskohtaisen tuoterakenteen. Tilauskohtainen hydraulikaavio yhdistetään työkierron avulla tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen.

7.5 Tilauskohtainen hydraulikaavio

Tilauskohtainen hydraulikaavio muodostetaan tilauskohtaisen tuoterakenteen konfigurointitiedon perusteella. Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan tilauksen SOS:n perusteella kaavionpiirto-ohjelmiston kaaviokonfiguraattorilla.

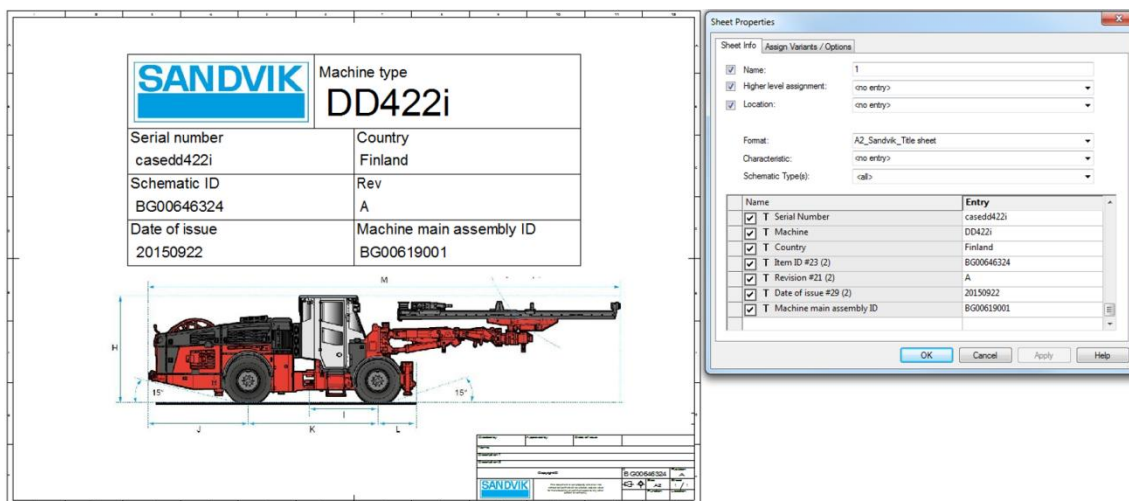
Tilauskohtaisen projektin pohjana käytetään DD422i:n master-projektia. Uudessa projektissa järjestelmäkaavioille ja projektille ei ole määritetty nimikenumeroa. Kuvassa 25 tilauskohtaiselle kaavioprojektille perustetaan nimike PDM-järjestelmään. Projektille luodaan ID-koodi ja revisio, mutta järjestelmäkaavioille ei luoda omia ID-koodeja. Projekti nimetään PDM-järjestelmän kaavionimikkeen mukaan ja projektille annetaan lyhyt kuvaus. Tiedot siirtyvät PDM-järjestelmän nimikkeen attribuuteiksi.



Kuva 25. ID-koodin luominen projektille

Tilauskohtaiselle hydraulikaavioille on luotu kansilehti, johon täytetään tilauksen tiedot. Taulukkoon täytetään projektin ID-koodi, revisio, tilausnumero, kohdema, tilauskohtaisen tuoterakenteen nimikkeen ID-koodi ja päiväys. Kaavion ID-koodi on tärkeä merkitä otsikkolehdelle, koska kaavioiden otsikkotaulut ovat tyhjiä. Näin ollen tilauskohtainen kaavio on jäljitettävissä PDM-järjestelmään tallennettuun projektiin.

Kuvassa 26 on esitetty kaavioprojektin kansilehti ja lehden ominaisuustaulukko. Kaavi-
on tiedot lisätään taulukon tekstiattribuuttien arvoiksi, jolloin ne siirtyvät kansilehden
otsikkotauluun.

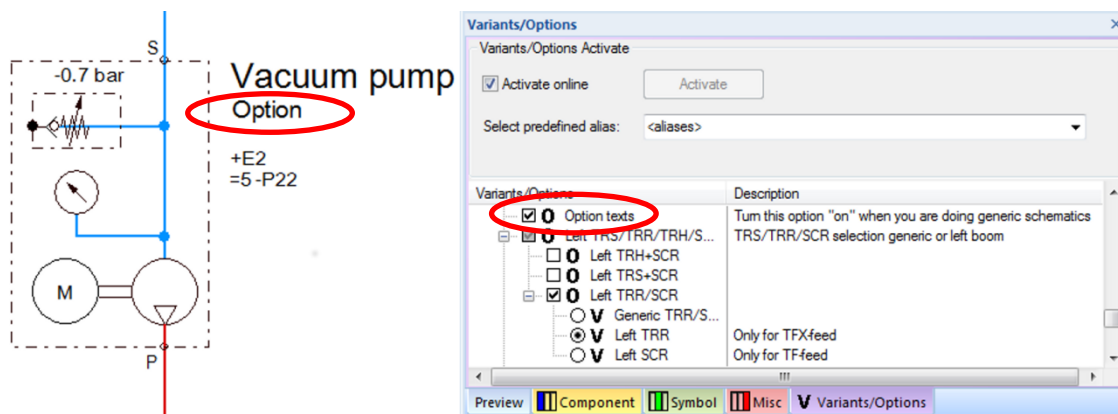


Kuva 26. Tilauskohtaisen hydraulikaavion kansilehti

Tilauskohtainen kaavioprojekti konfiguroidaan SOS:n perusteella. SOS:n heikkoutena on, että siitä puuttuvat optiorivit, jotka ovat asetettu optiokysymyksiä *Default*-arvoiksi. Sen vuoksi kaaviota konfiguroitaessa on hyvä pitää esillä listaa poralaitteen perusrakenteen optioista ja varianteista, jotta tilauskohtainen hydraulikaavio olisi täydellisesti konfiguroitu.

Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan kaavionpiirto-ohjelmassa. Ohjelma sisältää kaaviokonfiguraattorin, jolla voidaan hallita kaavioiden objektien näkymää projektin lehdillä. Tilauskohtaista hydraulikaaviota konfiguroitaessa tulee muistaa piilottaa geneeristen kaavioiden optiotekstit. Kaavioissa olevat optiot on merkitty kaavioihin teksteillä, jotka voidaan piilottaa tilauskohtaisesta hydraulikaaviosta. Geneerisissä kaavioissa optiotekstit on hyvä olla mukana, jotta optiokomponentit ja -kytkennät erotetaan vakiokomponenteista.

Kuvassa 27 on esitetty vasemmalla hydraulisäiliön tyhjiöpumppu, jota tarjotaan poralaitteen optiona. Kuvan 27 oikeassa laidassa kaaviokonfiguraattorissa ”Option texts”-optio on aktivoitu. Kun ”Option texts”-optio kytketään kaaviokonfiguraattorissa pois päältä, optiotekstit häviävät kaaviosta.



Kuva 27. Optiotekstit geneerisessä hydraulikaaviossa

Konfiguroitu hydraulikaavio tallennetaan PDM-järjestelmään. Talletuksen yhteydessä kaavion lehdistä muodostetaan PDF-dokumentti. Kun tilauskohtainen hydraulikaavio on valmis eikä siihen enää tehdä muutoksia, nimikkeen revisio vapautetaan PDM-järjestelmässä. Nimikkeen revision vapauttamisen jälkeen sitä voidaan käyttää suunnittelutietona.

7.6 Muutos laitteen spesifikaatiossa

Poralaitteen spesifikaation muuttuessa tuoterakennetta täytyy päivittää. Muutos voi johtua esimerkiksi asiakasvaatimuksen muutoksesta. Asiakas voi haluta poralaitteeseensa lisäoptioita tai poralaitteen kohdamaa muuttuu, joka vaikuttaa poralaitteen maapakettiin. Muutokset voivat olla myös asiakkaasta riippumattomia. Toisinaan tuoterakenteen komponenttia tai kokoonpanoa päivitetään suunnittelun tai tuotannon toimesta. Muutos voi johtua komponentin turvallisuustekijöistä tai tuotannon tarpeesta käyttää muuta komponenttia, jos tuoterakenteen sisältämää osaa ei ole saatavilla. Muutos tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen voidaan tehdä kahdella eri tavalla:

1. Konfiguroidaan tilaus uudestaan tuotekonfiguraattorissa (A-prosessi)
2. Muutetaan tilauskohtaista tuoterakennetta manuaalisesti (B-prosessi)

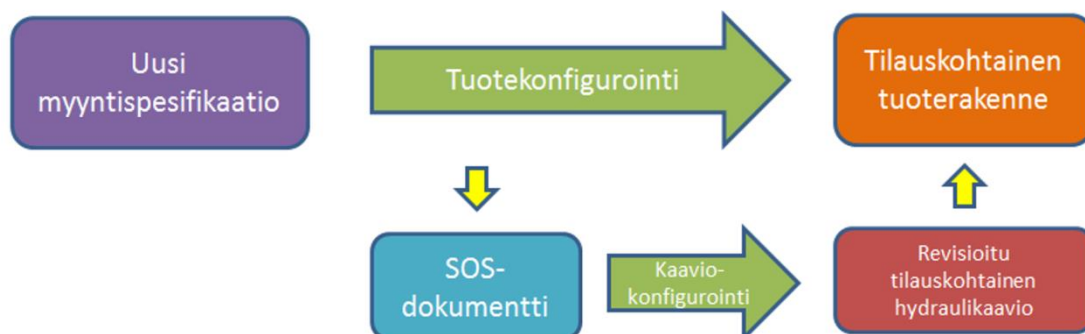
Tilaus konfiguroidaan uudestaan, jos muutoksessa on kyse myyntispesifikaation muuttumisesta, joka ei vaadi lisäsuunnittelua. Muutos voidaan siis toteuttaa A-prosessilla. Muutokset tuoterakenteeseen tehdään manuaalisesti, jos muutos ei ole toteutettavissa uudelleenkonfiguroimalla.

Konfiguroitavan tuoterakenteen idea on, ettei muutoksia tuoterakenteeseen tehtäisi muulla tavalla kuin konfiguroimalla. Kerran manuaalisesti muokattua tuoterakennetta ei ole mahdollista enää konfiguroida tuotekonfiguraattorissa. Jos konfiguroituun tuoterakenteeseen joudutaan tekemään manuaalisia muutoksia, tilaus hoidetaan B-prosessin kautta.

Toisinaan asiakas haluaa poralaitteeseen sellaisen ominaisuuden, jota ei tarjota poralaitteen optiona. Silloin poralaitteen tuoterakenne suunnitellaan osittain tilauskohtaisesti ja tilaus käsitellään B-prosessilla. B-prosessin kautta hoidetaan myös tilaukset, joissa laitespesifikaatio koostuu tarjotuista optioista ja varianteista, mutta tilaus on konfigurointimallin vastainen.

7.7 Muutos tilaus-toimitusprosessissa: A-tuote

Asiakaslähtöinen muutos, joka sisältyy poralaitteen tuotetarjontaan, käsitellään A-prosessissa. A-tuotteen myyntispesifikaation muutos korjataan tuoterakenteeseen uudelleenkonfiguroimalla. Uutta myyntispesifikaatiota konfiguroitaessa poralaitteen kaikkia ominaisuuksia ei tarvitse määrittää uudelleen, koska konfiguraation pohjana on alkupe-
räinen SOS. Tilauskohtainen hydraulikaavio revisioidaan ja konfiguroidaan uudelleen uuden SOS:n perusteella. Muutos A-prosessissa on esitetty kuvan 28 kaaviossa.

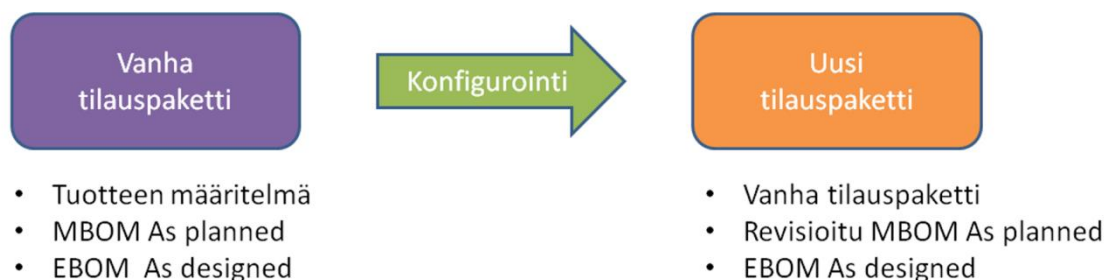


Kuva 28. A-tuotteen muutos tilaus-toimitusprosessissa

Tilauskohtaisen tuoterakenteen nimike revisioidaan ja ID-koodi pysyy samana. Muutoksen jälkeen sekä tilauskohtainen tuoterakenne että tilauskohtainen hydraulikaavio ovat seuraavassa revisiossa.

Hydraulikaavion päivittäminen tilauskohtaisen tuoterakenteen mukaiseksi aloitetaan lataamalla kaavion työtiedosto PDM-järjestelmästä kaavionpiirto-ohjelmistoon. Projekti revisioidaan, jonka jälkeen kaavio uudelleenkonfiguroidaan. Muutokset tehdään uuden SOS:n perusteella hydraulikaavioon muuttamalla konfigurointiarvoja. Lopuksi revisio päivitetään kansilehdelle, projekti siirretään PDM-järjestelmään ja revisio vapautetaan.

PDM-järjestelmässä tilauskohtaisen tuoterakenteen uudelleenkonfigurointi aloitetaan lataamalla tilauspaketin SOS pohjaksi tuotekonfiguraattoriin. Vanhan SOS:n tehdyt valinnat ovat muistissa kaaviokonfiguraattorissa. Muutos tehdään yhden tai useamman muuttuneen option osalta. Tilauskohtaista tuoterakennetta konfiguroitaessa referensseinä oli SOS:n lisäksi tilauksen määritelmä. Nyt työkierron referensseinä on päivitetyn SOS:n lisäksi vanha tilauspaketti. Vanha tilauspaketti sisältää tilauksen määritelmän ja jo kerran konfiguroidun MBOM:n. Tarkempi prosessikaavio on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Tilauskohtaisen tuoterakenteen uudelleenkonfigurointi

Työkierto luo vanhan tilauspaketin pohjalta uuden tilauspaketin. Uusi tilauspaketti sisältää EBOM:n lisäksi revisioitua MBOM:n, johon on tehty muutokset SOS:n muuttuvien arvojen mukaan. EBOM on molemmissa tilauspaketeissa sama geneerinen suunnittelurakenne.

7.8 Muutos tilaus-toimitusprosessissa: B-tuote

Tilauksen uudelleenkonfigurointi ei ole mahdollista, jos muuttuva moduuli tai komponentti ei ole poralaitteen valmis optio tai variantti. Silloin kyseinen konfiguraatio ei kuulu konfigurointimalliin vaan muutos on tehtävä manuaalisesti. B-prosessissa tehtävä muutos johtuu usein suunnittelun tai tuotannon tarpeesta vaihtaa tuoterakenteen komponentti toiseen. Syitä komponentin vaihtamiseen tuoterakenteessa ovat esimerkiksi saata- vuusongelmat, jolloin osa vaihdetaan vastaavanlaiseen komponenttiin. Muita syitä voivat olla tuoterakenteen komponentin muuttaminen. Muutoksen syy voi liittyä komponentin turvallisuuteen tai ominaisuuden muuttumiseen.

B-prosessissa konfiguroitua tuoterakennetta muokataan manuaalisesti. Muutos tehdään tuoterakenteessa sijaitsevalle nimikkeelle tai kokoonpanolle. Tuoterakenne ei ole ”jäädytetty”, jolloin muutos tehdään vain kokoonpanolle, jonka alarakennetta muutetaan. Tuoterakenteen nimike revisioituu vain, jos muutos koskee päätason moduuleja tai kokoonpanoja. Muutoksen sijaitessa tuoterakenteiden alatasoilla on hankala huomata tuoterakenteen muutosta, koska tuoterakenteen päätaso ei revisioidu. Jos muutos voidaan tehdä komponenttia revisioimalla, silloin ei ole tarvetta käsitellä muutosta B-prosessissa. Uusin nimikkeen revisio päivittyy myös tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen.

Kuvassa 30 on esitetty B-prosessin yksinkertaistettu kaavio. Konfiguroitu tilauskohtainen tuoterakenne muokataan manuaalisesti tilausta vastaavaksi. Hydraulikaavio revisioidaan tarvittaessa, jos tuoterakenteen muutos vaikuttaa hydraulijärjestelmään. Hydraulikaavio lisättiin tuoterakenteeseen jo tilausta konfiguroitaessa, joten se sisältyy tuoterakenteeseen. Hydraulikaavion uusin revisio päivittyy automaattisesti tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen.



Kuva 30. Tilauskohtaisen tuoterakenteen muokkaaminen B-prosessissa

Mikäli tuoterakenteen muutos vaikuttaa poralaitteen hydraulijärjestelmään, tuoterakenteen hydraulikaavio revisioidaan. Kaavio piirretään tuotetta vastaavaksi muutosten perusteella. On mahdollista, että kaaviokonfiguraattorin konfigurointisääntöjä joudutaan purkamaan, riippuen konfiguraatiomallin rakenteesta. Mitä yksityiskohtaisemmin kaavion konfiguraatiosäännöt vaikuttavat yksittäisten komponenttien näkymään, sitä helpompaa kaavion konfiguraatiomallin muokkaaminen on. Konfiguraatiomallia muokataan tilauskohtaisessa projektissa, jolloin muutokset eivät tallennu poralaitteen master-projektiin.

B-tuotteen tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan samalla tavalla B-prosessissa. Tilauskohtainen tuoterakenne konfiguroidaan tuotekonfiguraattorilla siltä osin, kuin se noudattaa konfigurointimallia. Muutokset tuoterakenteeseen tehdään B-prosessin mukaan manuaalisesti. B-tuotteen myyntitilaus tehdään myös Sales Toolsissa. Asiakkaan haluamat ominaisuudet kirjataan myyntitilauksen SOR-osioon (engl. Special Order Request). Myyjä kirjoittaa avoimeen tekstikenttään, minkälaisesta erikoistilauksesta on kyse. SOR-osion teksti lisätään myyntitilauksen loppuun.

8 KONFIGUROIDINTIPROSESSIEN KEHITTÄMINEN

Hydraulikaaviot onnistuttiin tuottamaan konfiguroitaviksi. Hydraulikaavioiden konfigurointiprosessia testatessa huomattiin muutamia seikkoja, joihin voisi kiinnittää huomiota. Seuraavat asiat tarvitsevat vielä kehittämistä:

- Tuotekonfigurointiprosessin kehittäminen
- Optionimien harmonisoiminen
- Hydraulikaavion konfigurointiprosessin automatisoiminen

Tilauskohtainen tuoterakenne muodostetaan PDM-järjestelmässä työkierron avulla. Tällä hetkellä työkiertoon ei voida lisätä tilauskohtaista hydraulikaaviota. Työkiertoa täytyy muokata siten, että myös tilauskohtainen hydraulikaavio voidaan lisätä työkierron referenssitiedostoksi. Hydraulikaavion konfigurointiprosessi olisi yksiselitteisempää, mikäli konfiguraattoreiden optionimet olisivat keskenään yhteneviä eli harmonisoituja. Tilaus-toimitusketjua voitaisiin tehostaa automatisoimalla hydraulikaavion konfigurointiprosessi. Konfigurointiprosessin automatisoiminen käytännössä vaatisi myös optionimien harmonisointia.

8.1 Tuotekonfigurointiprosessin kehittäminen

Tällä hetkellä tilauskohtaista hydraulikaaviota ei voida lisätä tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen A-prosessissa. Luvussa 7 esitetään, miten tilauskohtaisen tuoterakenteen sisältävä tilauspaketti luodaan erillisen työkierron avulla PDM-järjestelmässä. Hydraulikaavion lisääminen työkiertoon referenssitiedostoksi vaatii PDM-järjestelmän työkierron muuttamista.

A-prosessissa tilauskohtaiselle tuoterakenteelle ei ole mahdollista tehdä muutoksia muulla tavalla kuin geneeristä EBOM:ia konfiguroimalla. Työkierron avulla tilauskohtainen hydraulikaavio olisi mahdollista lisätä tilauksen rakenteelle, vaikka se ei kuuluukaan geneeriseen tuoterakenteeseen. Mikäli tilauskohtainen hydraulikaavio halutaan lisätä tilauskohtaiseen tuoterakenteeseen muuttamatta konfigurointiprosessin työkiertoa, kaavio täytyy lisätä tuoterakenteeseen manuaalisesti B-prosessissa. Tilauskohtainen tuoterakenne revisioitaisiin, koska tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään tuoterakenteen nimikkeen alatasolle.

Tuotekonfigurointiprosessin työkierron muuttaminen on ehto tilauskohtaisen hydraulikaavion tarjoamiselle tilauskohtaisessa tuoterakenteessa. B-prosessia tulisi käyttää vain poikkeustapauksissa, jolloin suurin osa tilauksista käsiteltäisiin A-prosessin kautta. Kehitetyllä työkierrolla on tulevaisuudessa myös mahdollista lisätä hydraulikaavioyhdistelmä tilauskohtaiselle tuoterakenteelle.

8.2 Optionimien harmonisointi

Tuotekonfiguraattorissa ja Sales Tools:issa käytettävien optioiden nimet on pyritty yhtenäistämään eli harmonisoimaan. Harmonisoidut optionimet helpottavat tuotekonfiguraattorin käyttämistä. Hydraulikaavion konfiguroiminen olisi yksiselitteistä, jos konfiguraattoreissa käytettävät optionimet ja niiden arvot olisivat identtisiä. Konfiguroijalla ei tarvitsisi olla tarkkaa tuntemusta poralaitteen hydraulikaavioista. Harmonisoidut optionimet vähentäisivät inhimillisiä virheitä ja nopeuttaisivat konfigurointiprosessia.

Varsinkin kaavioissa esiintyvien optioiden nimeäminen eroaa tuotekonfiguraattorin optionimien välillä. Hydraulikaavion konfigurointimalli on rakennettu kaaviokonfiguroinnin näkökulmasta. Tällä hetkellä tuoterakenteen optio voi vaikuttaa useaan hydraulikaavioon optioon kaavion eri lehdillä. Harmonisoitujen optioiden tekeminen olisi mahdollista, mutta se monimutkaistaisi kaavioiden konfigurointimallia merkittävästi. Yhden optiosäännön hajauttaminen usealle lehdelle tuo huomattavasti haastetta kaavioiden ylläpidolle. Kaaviota muutettaessa on vaikeaa tietää mihin kaikkiin kaavion objekteihin yksittäinen konfigurointisääntö vaikuttaa. Hydraulikaaviot on päätetty näyttää ensisijaisesti geneerisinä kaavioina. Myös tämä ominaisuus lisää kaavioiden konfiguroinnin monimutkaisuutta. Optiokomponentit ja -kytkennät täytyy erottaa vakiokomponenteista optioteksteillä. Attribuuttikonfiguroinnissa täytyy esittää myös geneerinen vaihtoehto, jossa näytetään molempien attribuuttien arvot yhtä aikaa.

Optionimien täydellinen harmonisointi tarkoittaisi kaavioiden konfigurointimallin muuttamista. Vaihtoehto optionimien harmonisoinnille olisi linkittää kaaviokonfiguraattorin optioita ja variantteja yhteen. Tällä tavalla yhdellä tuotekonfiguraattorin arvolla ohjattaisiin yhtä tai useampaa kaavio-optiota tai varianttia. Kaavion optioiden ja varianttien yhdistämistä testattiin kaaviokonfiguraattorin paketeilla (engl. packages). Pakettiin on mahdollista lisätä optioita, jotka aktivoidaan kaaviokonfiguraattorissa, kun kyseinen paketti aktivoidaan. Paketeilla voi näin ollen ohjata useaa kaavio-optiota kerrallaan. Paketeilla ei kuitenkaan voida aktivoida kaaviokonfiguraattorin variantteja, joten paketit eivät ole käyttökelpoisia kaavio-optioiden ja -varianttien linkitykseen ainakaan tässä kaavionpiirto-ohjelmiston versiossa. Ainoa mahdollisuus optioiden linkittämiseen on kirjoittaa kaaviokonfiguraattorin option *description*-kenttään mihin tuotekonfiguraattorin option arvoon kyseinen kaaviokonfiguraattorin optio tai variantti liittyy.

8.3 Hydraulikaavion konfigurointiprosessin automatisointi

Tällä hetkellä hydraulikaavio konfiguroidaan manuaalisesti, mutta tulevaisuudessa tilaus-toimitusprosessia voitaisiin tehostaa automatisoimalla hydraulikaavioiden konfigurointiprosessi. Konfigurointiprosessin automatisoiminen käytännössä edellyttää optionimien harmonisoimista. Kaaviokonfiguraattorin optioiden linkittäminen voitaisiin ohjelmoida tietojärjestelmien integraatioon, jolloin tietyllä tuotekonfiguraattorin option arvolla hallittaisiin useaa kaavio-optiota. Ohjelma toisin sanoen prosessoisi tuotekonfiguraation optiovalintojen arvot kaaviokonfiguraattorin optiovalintoja vastaaviin arvoihin. Se kuitenkin tekisi tuoterakenteen ja kaavioiden muutoksenhallinnan erittäin vaikeaksi, koska muutokset tulisi ohjelmoida myös järjestelmäintegraatioon. Mitä yleisemmällä tasolla järjestelmän integraatio toimisi, sitä todennäköisemmin se olisi käyttökelpoinen tuoterakennetta muutettaessa.

Kaaviokonfiguroinnin automatisoinnin ajatuksena olisi siirtää tuotekonfiguraattorin SOS-optiolistan arvot kaaviokonfiguraattorin ymmärtämään muotoon. Kaaviokonfiguraattorin ennalta tehty konfiguraatio on mahdollista tallentaa XML-tyyppiseksi tiedostoksi. Konfiguraatiotiedosto voidaan ladata kaaviokonfiguraattoriin, jolloin konfiguraation sisältämät optiovalinnat aktivoituvat kaaviokonfiguraattorissa. PDM-järjestelmän SOS:n optiovalinnoista ei ole tällä hetkellä mahdollista tulostaa raporttia, jonka perusteella voitaisiin muokata XML-tiedosto kaaviokonfiguraattoria varten.

Käytännössä kaavionpiirto-ohjelmiston ja PDM-järjestelmän integroiminen konfigurointitiedon siirtämistä varten tarvitsisi järjestelmien yrityskohtaista räätälöintiä. Integrointi voisi olla yksisuuntaista, jolloin optiovalintojen tiedot siirretään PDM-järjestelmästä kaavionpiirto-ohjelmistoon. Yksisuuntainen integraatio on helpompi toteuttaa ohjelmallisesti. (Peltonen et al. 2002, s.109-111) Kaavionpiirto-ohjelmistossa on valmiina PDM-järjestelmän integraatio. Kyseessä on ohjelmiston kehittäjän tarjoama yleinen integraatio, jolloin sen muuttaminen ei välttämättä ole mahdollista. Tällöin lisäohjelma tehtäisiin sen rinnalle.

Kaaviokonfiguroinnin automatisoiminen edellyttää, että hydraulikaavioiden manuaalinen konfiguroiminen ja lisääminen tuoterakenteeseen tilaus-toimitusprosessissa toimii luvussa 7.1 esitetyllä tavalla. Myös optionimien tulisi olla harmonisoituja, mikäli automatisoitu kaaviokonfigurointi halutaan toteuttaa. Automatisoitu kaaviokonfigurointi nopeuttaisi tilaus-toimitusprosessia entisestään, koska virheet vähenisivät ja kaaviokonfigurointiin ei tarvitsisi käyttää aikaa. Ideaalitilanteessa automatisoitu kaaviokonfigurointiprosessi tekisi SOS:n avulla valmiin hydraulikaaviokonfiguraation kaavionpiirto-ohjelmistossa.

9 YHTEENVETO

Diplomityön tavoitteena oli kehittää yritykselle toimintatapa hydraulikaavioiden tuottamiselle. Yrityksessä tehtaiden suunnitteluosastoilla otettiin käyttöön uusi kaavionpiirto-ohjelmisto, jonka yhteydessä oli tarkoitus luoda toimintatapa yhtenäisten ja standardimukaisten kaavioiden esittämiselle. Hydraulikaavioiden piirtämiselle kehitettiin toimintatapa, joka esitetään yrityksen sisäisessä ohjedokumentissa.

Diplomityön toisena tavoitteena oli tutkia, voidaanko konfiguroituvan tuotteen hydraulijärjestelmä esittää tilauskohtaisessa hydraulikaaviossa. Hydraulikaavioiden käyttäjät olivat vaatineet kaivoslaitteisiin tilauskohtaisia hydraulikaavioita, joissa esitetään tietyn laiteyksilön hydraulijärjestelmä. Tällä hetkellä poralaitteen hydraulijärjestelmä esitetään geneerisessä hydraulikaaviossa, jossa näytetään vakiokomponenttien lisäksi myös optiokomponentit ja niiden kytkennät. Geneerisiä hydraulikaavioita pidettiin epäselvinä. Niiden perusteella on hankalaa hahmottaa laiteyksilön hydraulijärjestelmä, mikä aiheutti pahimmillaan jopa turvallisuusriskin laitetta huollettaessa. Diplomityössä keskityttiin tutkimaan konfiguroituvia hydraulikaavioita. Diplomityössä selvitettiin, miten hydraulikaavio muodostettiin konfiguroituvaksi ja miten tilauskohtainen hydraulikaavio lisättiin poralaitteen tuoterakenteelle.

Poralaitteen hydraulikaaviot päätettiin jakaa tuoterakenteessa sijaitseviin geneerisiin järjestelmäkaavioihin ja erilliseen tilauskohtaiseen hydraulikaavioon. Järjestelmäkaaviot sijaitsevat geneerisen tuoterakenteen letkusetien nimikkeiden referenssitiedostoina. Geneerisiä järjestelmäkaavioita käytetään letkutusdokumenteina poralaitteen kokoonpanossa. Tilauskohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan kaavionpiirto-ohjelmassa ja lisätään erikseen tilauskohtaiselle tuoterakenteelle.

Tilauskohtainen hydraulikaavio on geneeristä kaaviota selkeämpi, koska se esittää yksiselitteisesti poralaitteen hydraulijärjestelmän. Hydraulikaavio päätettiin piirtää ensisijaisesti geneeriseksi kaavioksi, joka konfiguroidaan jokaiselle poralaiteyksilölle erikseen. Hydraulikaavion konfiguroiminen tarkoittaa kaavion komponenttien ja kytkentöjen näkymien hallitsemista. Hydraulikaavioon rakennettiin konfigurointimalli, jonka mukaan kaaviokonfiguraattorilla on mahdollista hallita kaavion optio- ja varianttikomponenttien näkymää. Tilauskohtainen hydraulikaavio luodaan geneerisen hydraulikaavion pohjalta, josta piilotetaan poralaiteyksilön hydraulijärjestelmään kuulumattomat komponentit ja kytkennät. Diplomityössä esitettiin miten tilauskohtainen hydraulikaavio lisätään poralaitteen tuoterakenteeseen tilaus-toimitusprosessissa. Tuoteyksilökohtainen hydraulikaavio konfiguroidaan manuaalisesti tuoterakenteen konfigurointitietojen perusteella.

Konfiguroitavan hydraulikaavion luominen ja ylläpito tuottavat haasteita hydraulikka-suunnittelijoille. Konfigurointimalli on selkeä ja helposti päivitettävä, jos konfigurointimalli rakennetaan yksinkertaiseksi. Kuitenkin konfigurointimalli tulisi muodostaa yhteneväiseksi tuotekonfiguraattorin kanssa, joka tekee konfigurointimallista monimutkaisemman. Optionimien yhtenäistäminen on edellytys tilauskohtaisen hydraulikaavion tehokkaaseen ja virheettömään konfiguroimiseen. Yhtenäisillä konfigurointikysymyksillä ja niiden arvoilla, hydraulikaavion konfigurointiprosessi olisi selkeämpi toteuttaa. Konfiguraattoreiden optionimien harmonisoiminen edistäisi tulevaisuudessa myös hydraulikaavion automaattisen konfigurointiprosessin kehittämistä.

Diplomityössä tehdyn E3-ohjeen avulla voidaan tuottaa yhtenäisiä ja standardinmukaisia hydraulikaavioita yrityksen suunnitteluosastoilla. Ohjeessa esitetään toimintatapa, miten hydraulikaavioita piirretään E3-ohjelmistolla. Diplomityössä todettiin, että hydraulikaavio on mahdollista muodostaa konfiguroituvaksi. Diplomityössä tutkittiin, miten hydraulikaavioille rakennetaan konfigurointimalli ja miten se kannattaa toteuttaa. Diplomityössä esitetyllä tavalla yritys voi tarjota tilauskohtaisia hydraulikaavioita poralaitteiden mukana.

LÄHTEET

- L. Ahoniemi, M. Mertanen, M. Mäkipää, M. Sievänen, P. Suomala, M. Ruohonen, Massaräätälöinnillä kilpailukykyä, Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy, 2007, 108 s. ISBN 978-951-817-949-1
- J. Albert, R. Point, Hydraulic and electrical schematics end users requirement, sisäinen dokumentti , 2013, 32 s.
- CIM Consult Solution Oy, Koulutusmateriaali E3.Series, Versio 13.0, 2011
- J. Fonselius, J. Rinkinen, M. Vilenius, Hydraulikka II, Tampereen yliopistopaino Oy – Juvenes Print, 3. Painos, ISBN 952-92-0114-1, 2008, 226 s.
- H. Harri, TAMROCK through the rock, Kirjapaino Hermes Oy, ISBN-978-952-92-4376-1, 2008, 143 s.
- ISO 1219-2:2012, Fluid Power systems and components – Graphical symbols and circuit diagrams- Part 2: Circuit diagrams, ISO, 2. Painos, 2012, 54 s.
- J. Jahnukainen, M. Lahti, M. Luhtala, LOGIPRO Tilausohjautuvien toimitusketjujen kehittäminen, Tammer-Paino Oy, ISBN 951-817-653-1, 1996, 169 s.
- H. Jyväsjärvi, Erikoisnosturin konfiguroituva sähkösuunnittelu, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 2000, 74 s.
- S. Järventausta, Tuoterakenteen ja modulaarisuuden kehittäminen, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1998, 127 s.
- E. Kaitaranta, Nosturin virransyötön konfigurointi, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2011, 61 s.
- O. Kariniemi, Rinnakkaisten tuotenäkymien hyödyntäminen teknologiateollisuudessa, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2014, 60 s.
- H. Kauranne, J. Kajaste, M. Vilenius, Hydrauliteknikka, WSOY Oppimateriaalit Oy, 1. painos, ISBN 978-951-0-33844-5, 2008, 487 s.
- T. Lehtonen, Designing Modular Product Architecture in the New Product development, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, 2007, 220 s.
- C. Lee. C. Leem, I. Hwang, PDM and ERP integration methodology using digital manufacturing to support global manufacturing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53(1-4), 2011, pp.399-409

T. Majander, Tuoterakenne tulevaisuuden kaivosporalaitteille, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2011, 77 s.

P. Niemistö, Kaivosjumbojen konfiguroinnin kehittäminen, opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2011, 67 s.

J. Nummela, Integrated Configuration Knowledge Management by Configuration Matrices – A Framework for Representing Configuration Knowledge, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, 2006, 205 s.

J. Paturi, Hydraulikaavioiden käyttö modulaarisessa tuoterakenteessa ja hydraulikaavioiden tuottamisen standardointi, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2010, 50 s.

H. Peltonen, A. Martio, R. Sulonen, PDM – Tuotetiedonhallinta, Edita Prima Oy, 1. Painos, ISBN 951-826-664-6, 2002, 169 s.

A. Pulkkinen, Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, 2007, 184 s.

E. Rintala, Lastauslaitteen tuoterakennesystematiikka ja uuden tuotteen konfiguraattorin hyödyntäminen, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2008, 85 s.

A. Sääksvuori, A. Immonen, Tuotetiedon hallinta – PDM, Satku – Kauppakaari, Gummerrus Kirjapaino Oy, 2002, 201 s.

J. Tiihonen, Kansallinen konfigurointikartoitus – asiakaskohtainen muuntelu suomalaisessa teollisuudessa, Lisensiaatintyö, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki, 1999, 287 s.

J. Tiihonen, T. Soininen, Product Configurators – Information System Support for Configurable Products. Technical Report TKO-B137, Helsinki University of Technology, Laboratory of Information Processing Science, 1997, 22 s. Saatavissa (viitattu 8.11.2015): <http://www.soberit.hut.fi/pdmg/config/celsart.pdf>

B. Trinkel, Hydraulics and Pneumatics, Chapter 4:ISO Symbols, verkkosivu, 2006. Saatavissa (Viitattu: 31.10.2015): <http://hydraulicspneumatics.com/other-technologies/chapter-4-iso-symbols>

Sandvik, Sandvik Business areas, verkkosivu, 2015a. Saatavissa (viitattu 1.11.2015): <http://www.sandvik.com/en/about-us/our-company/business-areas/>

Sandvik, Sandvik intra, sisäinen materiaali, 2015b, (viitattu 6.11.2015)

Sandvik, Sandvik Make it count, Sandvik EDEEP process with the DD422i, verkkosivu, 2015c. Saatavissa (viitattu 2.11.2015):

<http://www.sandvikmakeitcount.com/safety/sandvik-edeeep-process/dd422i-finland>

Sandvik, DD422i koulutusmateriaali, sisäinen dokumentti, 2015d

SS-ISO 1219-1:2012, Hydraulik och pneumatic – Grafiska symboler och kretsscheman – Del 1: Grafiska symboler (ISO 1219-1:2012, IDT), Swedish Standards Institute, 2. Painos, 2012, 196 s.

Suomen standardoimisliitto, SFS Ry, Standardien laadinta, CENin ja ISON komiteat, verkkosivu, saatavissa (viitattu 3.11.2015):

http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/cenin_ja_ison_komiteat

J. Viitaniemi, tuotepäällikkö, Sandvik Mining and Construction Oy, Tampere. Haastattelu, 2.6.2015

J. Voskuil, Where is the MBOM? PLM and Blockers. Jos Voskuil's Weblog, verkkosivu, 2008. Saatavissa (viitattu 23.10.2015):

<http://virtualdutchman.com/2008/07/03/where-is-the-mbom/>